

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ХІМІЧНОГО, ПОЛІМЕРНОГО ТА СИЛКАТНОГО
МАШИНОБУДУВАННЯ**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) **О.В.Гондляр**
(ініціали, прізвище)
“ ” _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації): 133 – Галузеве машинобудування
спеціалізація: Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів

на тему: Лінія для виробництва транспортерної стрічки з модернізацією каландра.

Виконав : студент 2 курсу, групи ЛП-91мп
(шифр групи)

Терлецький Олександр Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові) _____ (підпис)

Науковий керівник д.т.н., проф. Панов Є.М.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультанти з: ТМ та Е Борщик С. О
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Модернізації д.т.н., проф. Щербина В. Ю.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

**Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація): 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

_____ Терлецькому Олександровичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Лінія для виробництва транспортерної стрічки з модернізацією каландра

науковий керівник дисертації: Панов Євген Миколайович д.т.н, професор _____ ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: Лінія для виробництва транспортерної стрічки з розглядом машини – каландра.

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): Каландр Г-подібний чотирихвалковий, діаметр робочої частини валка 610, довжина робочої частини валка 1730, ширина оброблюваного матеріалу 1200...1500 мм

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Вступ; Призначення і галузь застосування вирбу що проектується; Технічна характеристика машини; Опис конструкції та основних частин; Літературно-патентний огляд стану питання; Рекомендації щодо монтажу та експлуатації; Охорона праці; Стартап; Очікувані механіко-економічні показники; Література; Параметричні розрахунки; Кінематичні розрахунки; Розрахунки на міцність; Опис програм; Розрахунки надійності.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Лінія для виробництва транспортерної стрічки А1, каландр Г-подібний А1, механізм регулювання А1, валок базовий А1, валок модернізований А1, гвинт натисний А1, плакат «Розрахункова модель» А1, плакат «Результат розрахунків» А1

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1. Теза на тему: «Модернізація тихохідного валка каландра з використанням систем Ansys та Catia»

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Модернізація	Щербина В.Ю., проф. каф. ХПСМ		
ТМ та Е	Борщик С.О., ст. викладач каф. ХПСМ		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Опис лінії. Розробка креслення лінії.	19.10 – 24.10.2020	
2	Розробка креслення машини – каландра. Її технічна характеристика.	25.10 – 30.10.2020	
3	Літературний огляд та патентний пошук.	31.10 – 03.11.2020	
4	Розрахунок на міцність, тепловий та параметричний основної модернізації.	04.11 – 09.11.2020	
5	Розробка креслень баз. та модерн. вузла.	10.11 – 14.11.2020	
6	Параметричний розрахунок допоміжної модерн.	15.11 – 16.11.2020	
7	Розроблення розділу «Монтаж та експлуатація».	17.11 – 22.11.2020	
8	Розроблення розділу «Охорона праці».	23.11 – 24.11.2020	
9	Створення 3D моделей баз та модерн. конструкції	25.11 – 01.12.2020	
10	Створення розрахункової моделі в Ansys. Отримання результатів.	02.12 – 06.12.2020	
11	Аналіз достовірності результатів.	07.12 – 09.12.2020	
12	Створення плакатів з результатами розрахунку.	10.12 – 12.12.2020	
13	Оформлення записки магістерської дисертації.	13.12 – 18.12.2020	

Студент

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація магістра практичного спрямування на тему «Лінія для виробництва транспортерної стрічки з модернізацією каландра» / НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»; Керівник Є.М. Панов – К., 2020. – 119 с.: іл. – Викон. О.І.Терлецький.

Пояснювальна записка складається зі вступу, восьми розділів, висновків і списку посилань з 25 найменувань. Загальний обсяг записки становить 119 сторінок основного тексту, 41 рисунка, 2 таблиць.

Об'єкт дослідження – каландр лінії для одержання рулонних матеріалів, зокрема транспортерної стрічки.

Мета проекту – проектування каландра згідно з технічним завданням на основі існуючих промислових аналогів, здійснення модернізації каландра, а саме валка каландра з периферійними отворами та вузла гвинта натисного.

Записка містить опис призначення та області застосування виробу, технічну характеристику, опис і обґрунтування обраної конструкції, розрахунки, що підтверджують працездатність і надійність конструкції, рекомендації з монтажу та експлуатації, очікувані техніко-економічні показники, також присутній розділ охорони праці та навколишнього середовища.

На основі виконаних патентних досліджень здійснено модернізацію валка каландра з периферійними отворами та вузла гвинта натисного.

Ключові слова: РУЛОННІ МАТЕРІАЛИ, ТРАНСПОРТЕРНА СТРІЧКА, КАЛАНДР, ВАЛОК, ПЕРИФЕРІЙНІ ОТВОРИ, ГВИНТ НАТИСНИЙ, МОДЕРНІЗАЦІЯ

ABSTRACT

Graduation Project on the topic «Conveyor belt production line with calender modernization» / NTUU «KPI»; Research Supervisor – E.M. Panov – K., 2020. – 119 p. ill. – Performed by O.I. Terletsky.

The explanatory note consists of introduction, eight sections, conclusions and the list of references from 25 names. The common volume of a note makes 119 pages of the basic text, 41 figures, and 2 tables.

The subject of the research is calender line for rolled products, in particular conveyor belt.

The purpose of the project is the design calender according to the statement, on the basis of existing industrial analogues, implementation of modernization of the calender, namely, calender roll with peripheral foramens and thrust screw.

Note describes the purpose and scope of the product, specifications, description and justification of the chosen design, calculations, confirming the efficiency and reliability of the design, advice on installation and operation, the expected technical and economic parameters, there is also a section of occupational safety and environment .

On the base of patent research modernized roll calender with peripheral foramens and thrust screw.

Key words: ROLL MATERIALS, CONVEYOR BELT, CALENDER, SWATH, PERIPHERAL FORAMENS, THRUST SCREW, MODERNIZATION

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ

D	зовнішній діаметр,	м;
E	модуль пружності,	Па;
N	потужність,	кВт;
L	довжина пружини,	м;
P	навантаження,	Н;
R_B	радіус бочки валка	м;
$R_{ПВ}$	радіус порожнини бочки валка	м;
S	площа поперечного перерізу,	м ² ;
V_B	швидкість тихохідного валка,	м/с,
Q	величина розподіленого навантаження,	Н/м;
b	ширина шпонкового паза,	м;
d	внутрішній діаметр,	м;
n	частота обертання,	об/хв;
m	маса валка	кг;
t	глибина шпонкового паза,	м;
r_1	радіус внутрішньої поверхні валка,	м;
r_2	радіус зовнішньої поверхні валка,	м;
K_0	коефіцієнт консистентності,	Па·с ⁿ ;
$M_{кр}$	крутний момент,	кН·м;
M_{max}	максимальний момент,	Н·м;
Π	продуктивність,	т/год;
T	температура,	°С;
p	тиск,	Па;
$c_{рп}$	питома масова теплоємність,	Вт/(м·К);
$\rho_{п}$	густина	кг/м ³ ;
α	коефіцієнт тепловіддачі,	Вт/(м ² ·°С);

η –	коефіцієнт корисної дії,	
λ –	коефіцієнт теплопровідності,	Вт/(м °С);
φ –	коефіцієнт фрикції в міжвалковому проміжку,	
μ –	коефіцієнт Пуассона,	
σ –	напруження,	Па;

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 ОПИС ЛІНІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТРАНСПОРТЕРНОЇ СТРИЧКИ	10
1.1 Призначення та галузь застосування каландра.....	10
1.2 Конструкція та принцип дії каландра у складі лінії	11
2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА	17
3 ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПОТЕНТНИЙ ОГЛЯД.....	19
3.1 Основні показники обраної базової конструкції	19
3.2 Патентні дослідження	20
3.3 Мета роботи.....	30
4 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ МОДЕРНІЗАЦІЇ	32
5 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ	35
5.1 Математична модель процесу каландрування.....	35
5.1.1 Визначення величини міжвалкового проміжку і швидкостей валків ..	39
5.1.2 Визначення границі зони деформування міжвалкового проміжку	41
5.1.3 Визначення зусиль, що діють на валки каландра	45
5.2 Параметричний і тепловий розрахунки каландра	50
5.2.1 Визначення потужності привода каландра	51
5.2.2 Розрахунок валка на міцність	53
5.2.3 Тепловий розрахунок верхнього виносного і верхнього валків	60
5.2.4 Гідравлічний розрахунок валка	67
5.3 Розрахунок упорного гвинта механізму регулювання зазору	71
5.3.1 Розрахунок упорного гвинта	71
5.3.2 Розрахунок стакана	75
5.3.3 Розрахунок сухаря	76
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	78
6.1 Характеристика проектного об'єкту і місця його впровадження	78
6.2 Характеристика можливих небезпечних та шкідливих факторів.....	78
6.3 Промислове освітлення.....	79
6.4 Характеристика вентиляційної системи	80

6.5 Електробезпека	83
6.6 Характеристика виробництва на пожеже- і вибухонебезпечності	86
6.7 Боротьба з надзвичайними ситуаціями на виробництві	87
6.8 Висновки	88
7 МОНТАЖ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ	89
7.1 Технологія складання редуктора	89
7.1.1 Схема монтажу	89
7.1.2 Операційна карта монтажу	90
7.2 Монтаж каландра на фундамент	95
7.2.1 План-схема розміщення фундаментальних болтів	95
7.2.2 Карти ескізів монтажу	96
7.2.3 Операційна карта монтажу	99
7.3 Експлуатація каландра	100
7.3.1 Карта змащення	100
7.3.2 Схема змащення	102
8 МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ	103
8.1 Розробка 3D-моделі базової і модернізованої частини конструкції	103
8.1.1 Створення базової частини вузла	103
8.1.2 Створення модернізованої частини вузла	104
8.2 Розрахунки для базової моделі модернізованого вузла	107
8.3 Розрахунки для модернізованої моделі	110
8.4 Аналіз достовірності отриманих результатів	114
ВИСНОВКИ	116
ЛІТЕРАТУРА	118
ДОДАТОК А	
ДОДАТОК Б	

ВСТУП

Для максимального розвитку економічної стабільності України, потрібен розвиток основних галузей промисловості в яких наша країна має можливості реалізації: машинобудування, енергетики, металургії і будівництва. Важливе значення має розробка нових ліній, машин і апаратів, можливості вдосконалення технічних засобів та обладнання, щоб знизити економічні витрати на виготовлення продукції й експлуатацію устаткування.

Розробка та виготовлення вітчизняного промислового устаткування дасть можливість відмовитись від дорогого імпортного обладнання, що істотно знизить собівартість готової продукції, а також за якісної реалізації і рекламної компанії може на цьому отримувати прибуток. Так як в Україні розвинена гірничо-добувна індустрія однією із основних можливостей вдосконалення є лінія для виробництва рулонних матеріалів, зокрема транспортерних стрічок. Є вітчизняні потужності, які спеціалізуються на цьому, тому є необхідність і можливість збільшення і модернізації їх потужностей.

Падіння української національної валюти стало причиною падінню цін. У різних промисловостях зростають потреби на матеріали для транспортування, тому випуск порівняно дешевої вітчизняної продукції і розробка устаткування для його виробництва залишається однією з важливих завдань промисловості.

У даному дипломному проєкті представлений чотирьохвалковий Г-подібний каландр для формування рулонних матеріалів, зокрема транспортерних стрічок різних видів. Запропоновано модернізацію основного робочого вузла валка каландра з периферійними отворами та вузла упорного гвинта механізму регулювання зазору.

1 ОПИС ЛІНІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТРАНСПОРТЕРНОЇ СТРІЧКИ

1.1 Призначення та галузь застосування каландра

Каландр встановлений у потоковій технологічній лінії для виробництва рулонних матеріалів на основі каучукових сумішей і може працювати тільки в її складі. Він призначений для остаточного формування пластичної маси, що пройшла стадію попереднього змішування і пластифікації.

Кінцевим продуктом після каландрування є транспортерна стрічка.

Лінія для виробництва рулонних гумових матеріалів призначена для отримання вальцово-каландровим методом таких рулонних матеріалів :

- Гумово-тросові конвеєрні стрічки;
- Стрічка стрічково канатного конвеєра;
- Шахтні стрічки конвеєрні гумовотканинні
- Конвеєрні стрічки для важких умов
- Конвеєрні стрічки для легких умов
- Харчові конвеєрні стрічки

Транспортерна стрічка використовується для різних робіт з транспортування різноманітних кускових і насипних вантажів: руд кольорових і чорних металів, вугілля та гірських порід, малоабразивних матеріалів.

Також можливе використання в сферах, які не пов'язані з транспортуванням матеріалів. Такими сферами є сфера послуг, що включає в себе різні прилади з використанням нескінченної стрічки.

Лінія застосовується у різних сферах промисловості. Наприклад: легкій, важкій, фармацевтичній, харчовій, будівельній, сільськогосподарській промисловостях.

Навіть якщо матеріал має дефекти або будь-які пошкодження, його можна використовувати не тільки за цільовим призначенням. Отже, стрічку від транспортера можна застосовувати при вирішенні наступних завдань:

1. Як підлогове покриття для складів, цехів, будь-яких інших великих приміщень;

2. Як покриття для підлоги при утриманні тварин на фермах і в сільському господарстві;
3. Як матеріал для покриття спортивних майданчиків (у дворах, навчальних закладах);
4. В якості настилу для захисту покрівель та дахів;
5. Як тепло-, шумо- і гідроізоляцію при проведенні будівельних робіт;
6. В інших сферах, де є потреба у щільному та стійкому матеріалі.

Окрім вище сказаного, матеріал можна застосовувати для будь-яких господарських потреб великих підприємств і приватних осіб: як покриття для підлоги, для різних утеплень (ворота, гараж), як демпфуючі елементи і т. д.

1.2 Конструкція та принцип дії каландра у складі лінії

Лінія для виробництва транспортерної стрічки являє собою комплект складальних одиниць, що забезпечує одержання гумових та гумовмісних матеріалів, при автоматичній підтримці заданої швидкості всіма механізмами лінії, а також при автоматичній підтримці заданих температур у всіх механізмах лінії.

До складу лінії входять: чотиривалковий Г-подібний каландр 4-610-1730-025П, стрічковий транспортер, хитний транспортер, змішувач двохроторний 250/22-44, вальці ВПСм-Пд 2100(660/660)Л, вальці ВПСм-Пд 2100(660/660)Л (остаточного підігріву підготовлюваної композиції), розмотувальні пристрої, тиснильно-дублювальний пристрій, термокамера, охолоджувальні пристрої, багатопетльовий компенсатор, пристрій поперечного різання, пристрій контролю товщини, пристрій обрізання крайок, пристрій добору крайок, намотувальний пристрій, автоматизація, комплект складальних одиниць і деталей.

У заданих пропорціях до заданої рецептури вихідні матеріали з відділення підготовки сировини надходять у відділення переробки для завантажування у змішувач 1, в якому вихідні матеріали перемішуються і пластифікуються. Отримана маса вивантажується на стрічковий транспортер 2

і далі зі стрічкового транспортера 3 потрапляє на вальці 4. На вальцях маса багаторазово пропускається крізь міжвалковий проміжок, поступово переміщуючись від середини валків до краю переднього валка, де знімається і у вигляді стрічки подається стрічковим транспортером 5 на другі вальці 6, на яких маса провальцьовується, поступово переміщуючись від одного краю робочого валка до другого, де зрізується у вигляді стрічки і хитним транспортером 7 подається на каландр 8. Тут маса послідовно проходить крізь ряд міжвалкових проміжків і виходить у вигляді остаточно відформованого полотна заданої товщини.

Встановлені на третьому валку каландра дискові ножі обрізають крайки стрічки, які стрічковим транспортером повертаються в перший проміжок каландра і змішуються зі свіжою масою.

З каландра транспортерна стрічка конвеєром подається в тиснильно-дублювальний пристрій 10, де дублюється з плівкою, що надходить з розмотувального пристрою 9 і має маркувальні знаки. На пристрої 10 може здійснюватися тиснення знаків та маркування на поверхні рулонного виробу. Для зняття внутрішніх напружень у матеріалі виріб надходить у термокамеру 11.

Для розширення технологічних можливостей лінії до її складу включають другий розмотувальний 12 і тиснильно-дублювальний 13 пристрої. Охолоджувальні пристрої 14 і 15 знижують температуру полотна транспортерної стрічки до заданої технологічним регламентом. Охолоджене полотно надходить крізь багатопетльовий компенсатор 16 у пристрій контролю товщини виробу 17, що здійснює безупинний автоматичний контроль і реєстрацію товщини, а також сигналізує про відхилення товщини від номінального значення.

Після контролю товщини полотно нового виробу направляється в пристрій обрізання крайок 18, де йому надається задана ширина, а потім проходить крізь пристрій добору крайок 19, у якому обрізані крайки намотуються в рулони і віддаляються за межі лінії. У пристрої поперечного різання 20 з поверхні відформованого виробу знімають заряди статичної

електрики. Після намотування рулону заданої довжини в намотувальному пристрої 21 по команді лічильника метражу періодично здійснюється поперечне різання. Потім включається привід валків, тягнучий пристрій, пристрій поперечного різання і полотно транспортерної стрічки потрібної довжини, контрольованої лічильником метражу, подається на сковзало.

За командою лічильника метражу сковзало піднімається і подає край полотна виробу до оправки намотувального пристрою для заправлення. Заправлена оправка з позиції заправлення (нижньої) повертається в позицію намотування (верхню), а намотаний рулон переходить у нижню позицію на знімання.

При роботі намотувального пристрою, рухома рама багатопетльового компенсатора знаходиться в нижньому положенні, при цьому сельсинний датчик багатопетльового компенсатора керує намотувальним пристроєм. При зупинці намотувального пристрою на час поперечного різання і заправлення сельсинний датчик багатопетльового компенсатора переключається на керування швидкістю підйому рухомої рами компенсатора і нагромадження отриманого виробу.

Поперечне різання стрічки, зняття готового рулону та установка порожньої оправки в намотувальному пристрої, що замикає лінію, не порушують безперервність технологічного процесу на лінії завдяки багатопетльовому компенсатору, який у цей час накопичує кінцевий виріб (транспортерну стрічку).

Г-подібний каландр входить до складу лінії для виробництва рулонних матеріалів і здійснює остаточну обробку та формування пластичної маси у виріб, зокрема виготовлення транспортерної стрічки

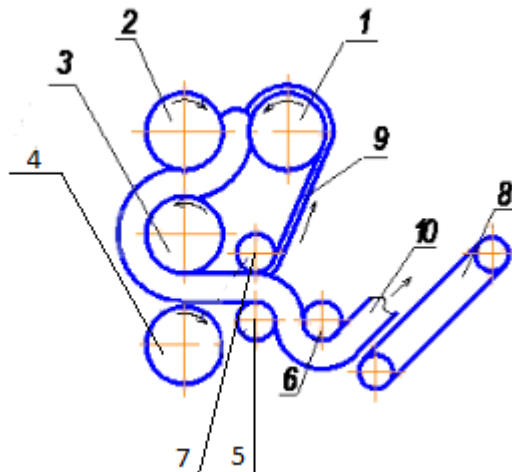
Каландр представляє собою чотирьохвалкову машину, валки якої змонтовані на підшипниках кочення і спираються на потужні сталеві станини. Станини встановлюються на дві чавунні плити, що кріпляться фундаментними болтами до фундаменту. Угорі станини стягаються двома сталевими траверсами. Валки – основні робочі органи каландра, виготовлені двошаровими з вибіленою поверхнею бочки, що має твердість 50...55HRC.

Схема розташування валків і процесу каландрування показано на рисунку 1.2.

Валки каландра приводяться в обертання від індивідуальних електродвигунів постійного струму (для безступінчастого регулювання швидкості їхнього обертання) через індивідуальні триступінчасті редуктори з зачепленням Новікова, що об'єднані в єдиний корпус (блок-редуктор).

Вали редукторів з електродвигунами з'єднані пружними муфтами, а з валками каландра – універсальними шарнірними шпинделями, що дозволяють здійснювати розсунення і перекошу верхнього і нижнього виносних валків.

Валки шарнірних шпинделів із шийками валків каландра і валами редуктора головного привода з'єднуються за допомогою шпонкових з'єднань.



1–4 – валки каландра; 5, 6 – приводні ролики; 7 – дискові ножі (два); 8 – транспортери; 9 – крайки; 10 – готова продукція

Рисунок 1.1 – Схема процесу каландрування

Підшипники нижнього валка 3 (див. Рисунок 1.2) нерухомо закріплені на станинах, підшипники верхнього, верхнього виносного і нижнього виносного валків – рухомі. Переміщення їх виконується для регулювання проміжків між валками і здійснюється за допомогою шести механізмів, установлених на станинах, на кожній стороні верхнього основного, нижнього виносного і верхнього валків, незалежно один від одного, із приводами від

індивідуальних фланцевих електродвигунів.

Обертання від електродвигунів передається натискному гвинту через двочерв'ячний редуктор.

Верхній виносний і нижній виносний валки крім цього мають додаткові пристрої для перекосу у вертикальній площині.

Цим досягається перехресчування пари валків (нижнього і нижнього виносного, а також верхнього і верхнього виносного), чим усувається вплив їхнього прогину від дії розпирних зусиль і різної товщини одержуваного листа по ширині. Кількість механізмів перекосу – чотири. Кожний з них являє собою двоступінчастий черв'ячний редуктор, що приводиться в обертання індивідуальним двигуном змінного струму. Редуктор приводить в обертання натискний гвинт, гайка якого нерухомо зв'язана з клином: переміщення клина викликає переміщення підшипникової опори разом з одним кінцем валка у вертикальній площині. Другий кінець валка в протилежній стороні. Величина перекосу одного кінця валка – 25 мм.

Маса для живлення каландра подається від живильних вальців у проміжок між верхнім і верхнім виносними валками. Для безупинного і рівномірного живлення каландра встановлений хитний транспортер, що складається зі стрічкового транспортера, який подає масу, що зрізується з вальців і механізму, який повідомляє транспортеру коливальні рухи для рівномірної розкладки стрічки уздовж робочого проміжку. Стрічковий транспортер і механізм хитання мають окремі електродвигуни, робота яких заблокована.

Для обмеження розтікання маси уздовж валків і одержання необхідної величини полотна в конструкції каландра передбачені текстолітові обмежувальні стріли, що встановлюються на необхідну ширину.

Робочі валки каландра виготовлені з чавуна з вибіленою поверхнею бочки (глибина окремого шару 8...30 мм). Валок містить бочку, цапфи та хвостовик, виконаний вздовж них центральний канал, для кращого теплообміну розташовані вздовж робочої поверхні бочки периферійні канали по яким циркулює теплоносій (тепла вода), виконані в бочці додаткові канали,

що сполучають периферійні канали з центральним каналом, а також заглушки, розташовані на торцях бочки в місцях виходу периферійних каналів. При цьому центральний канал у границях бочки має розточку, перекриту трубою, кінці якої закріплені на стінках центрального каналу цапф. Це знижує енергоємність валка і практично зводить нанівець теплообмін між потоками теплоносія в периферійних і центральному каналах. У найприйнятнішому прикладі виконання валка щонайменше одна бічна поверхня труби має покриття на основі високомолекулярної сполуки. Для підведення теплоносія до обертових валків передбачений спеціальний чепцевий пристрій. Задана температура валків підтримується автоматичною тепловою станцією.

Неперервне полотно транспортерної стрічки на виході з калібрувального проміжку обрізається на пристрої для обрізки крайок, який складається з двох приводних роликів, установлених на шарикопідшипникових, і двох дискових ножах. Ножі можна встановлювати на необхідну ширину.

Змащення валкових підшипників, різьби натискних гвинтів механізмів регулювання проміжків і механізму перекошу валків густе.

Для аварійної зупинки каландра передбачений аварійний пристрій штангового типу ручної і ніжної дії: два перед каландром і два позад валків. Штанга, жорстко з'єднана з важелем, що обертається на підшипнику кочення, натисканням руки чи ноги штовхає ролик кінцевого електровимикача, зблокованого з пускорегулювальною апаратурою каландра. При натиску на штангу каландр зупиняється за 1/4 оберту валка. Гальмування електродвигуна електродинамічне. Нормальна зупинка і пуск каландра здійснюються з центрального пульта керування.

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Основні параметри і характеристики каландра наведені та мають відповідати зазначені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні параметри і характеристики каландра

Найменування параметра	Показник
1. Каландр Г-подібний чотирьохвалковий призначений для листування гумових матеріалів	
2. Кількість валків, шт	4
3. Діаметр робочої частини валків, мм	610±0,2
4. Довжина робочої частини валків, мм	1730h
5. Робочі швидкості валків (продуктивність), м/хв	4...40
6. Заправна швидкість не більше, м/хв	4
7. Фрикція між валками регульована	
8. Ширина оброблюваного матеріалу, мм	1200...1500
9. Робочі температури поверхні валків, °C	80...170
10. Допустиме відхилення від заданої температури теплоносія на злив з валка (при автоматичному регулюванні), °C	±3
11. Допустиме відхилення від заданої температури по довжині і по периметру валка, °C	±3
13. Робочий проміжок між валками, мм	0,4...2
14. Максимальний розсув валків (технологічний), мм	10
15. Величина перекосу осей верхнього і нижнього виносних валків, мм	0...25
16. Привод каландра індивідуальний на кожний валок.	
17. Потужність електродвигуна , кВт, не більше:	
– верхнього та нижнього виносних	55
– верхнього та нижнього основних	75

Продовження таблиці 2.1

18. Габаритні розміри, мм, не більше:	
– довжина	8770
– ширина	4850
– висота	3340
19. Маса каландра, кг, не більше	100000

3 ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПОТЕНТНИЙ ОГЛЯД

3.1 Основні показники обраної базової конструкції

Транспортерну стрічку зазвичай виготовляють вальцюво-каландровим способом.

Найбільш розповсюдженим способом одержання стрічки є безперервний вальцюво-каландровий, який, незважаючи на складне енерго- і металомістке устаткування, забезпечує випуск продукції високої якості зі швидкістю 18...40 м/хв. Крім цього цей спосіб дозволяє отримувати усі види основного і безосновного, одно- і багатошарового виду стрічок, що робить вальцюво-каландровий спосіб кращим.

Аналіз існуючих конструкцій каландрів дозволяє класифікувати їх за наступними ознаками: за призначенням; за видом матеріалу, що переробляється; за кількістю валків; за схемою розташування валків; по діаметру валків; за схемою привода; по методу компенсації прогину валків; за способом обігріву валків і за характером тиску валків на матеріал.

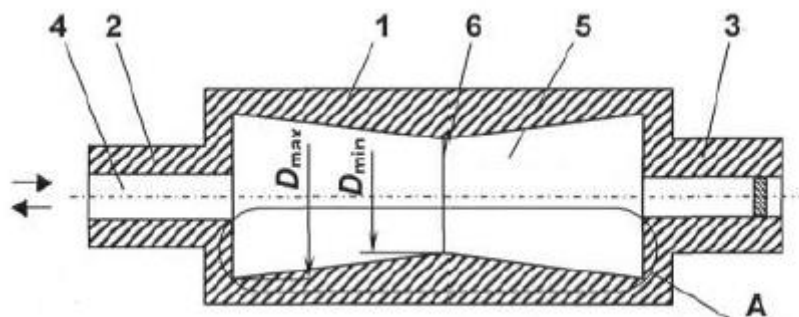
Залежно від призначення каландри поділяються на універсальні, тиснильні, дублювальні і друкувальні. В залежності від кількості і розміщення валків каландри бувають двохвалкові вертикальні, двохвалкові горизонтальні, трьохвалкові вертикальні, трьохвалкові горизонтальні, трьохвалкові нахилені з трикутним розміщенням валків, трьохвалкові А-подібні, чотирьохвалкові вертикальні, чотирьохвалкові Г-подібні, чотирьохвалкові Z-подібні, чотирьохвалкові S-подібні, чотирьохвалкові L-подібні, рідше застосовують п'ятивалкові та шестивалкові каландри.

Залежно від привода каландри бувають з одним загальним приводом і шестеренчастими передачами і з власним електроприводом на кожен валок. Привід універсальних каландрів повинен забезпечити можливість регулювання швидкості каландрування в залежності від властивостей каландрованих пластмас.

3.2 Патентні дослідження

У даному проекті модернізується 4-х валковий каландр, універсальний для переробки пластичних мас і гумових сумішей, з однаковим діаметром валків, індивідуальним приводом валків, з перекосом валків для компенсації їхнього прогину, з рідинним обігрівом валків і постійним тиском валків на оброблюваний матеріал. Каландр, входить до складу лінії для виробництва рулонних полімерних матеріалів і робить остаточну обробку та формування пластичної маси у виріб, зокрема стрічка.

В основу корисної моделі [11] лежить валок валкових машин для перероблення полімерних матеріалів містить порожнисту бочку, а також цапфи з центральним каналом для циркуляції рідкого теплоносія в порожнині бочки. Порожнину бочки по її довжині виконано змінного діаметра: мінімального в центрі й максимального по краях.



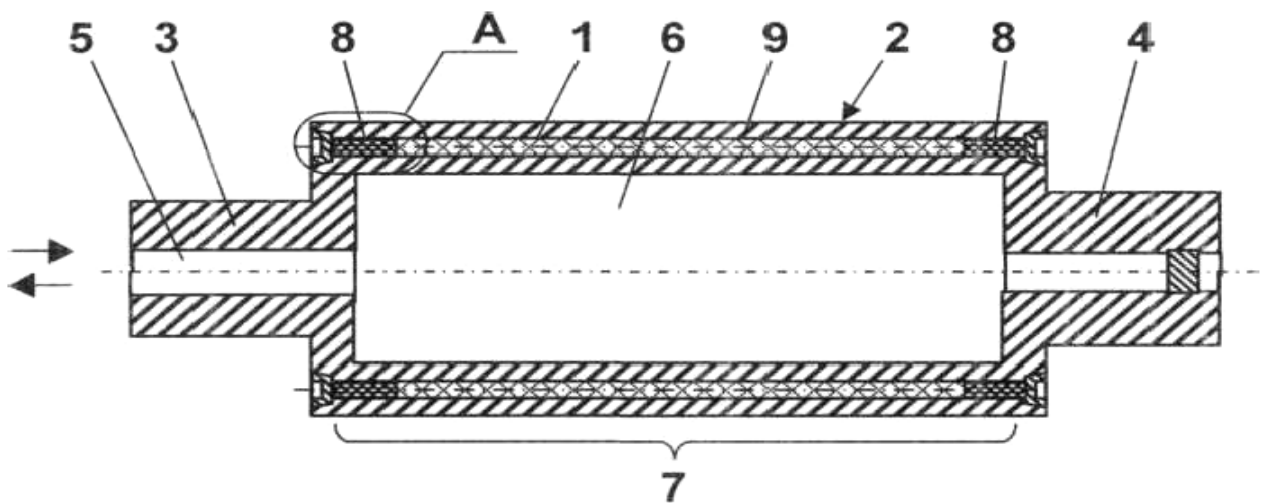
1 – бочка, 2,3 – цапфи, 4 – центральний канал, 5 – порожнина бочки,
6 – спільна менша основа

Рис.3.1 – поздовжній розріз валка

Валок валкових машин для перероблення полімерних матеріалів містить порожнисту бочку 1, а також цапфи 2 і 3 з центральним каналом 4 для циркуляції рідкого теплоносія в порожнині 5 бочки 1, при цьому порожнину 5 бочки 1 по її довжині виконано змінного діаметра: мінімального в центрі D_{min} і максимального по краях D_{max} . Порожнину 5 бочки 1 при цьому може бути виконано у вигляді двох зрізаних конусів зі спільною меншою основою 6.

Виконання порожнини бочки по її довжині змінного діаметра (мінімального в центрі й максимального по краях) збільшує момент опору поперечного перерізу бочки валка в найбільш небезпечному його місці - в центральній частині бочки, а отже й підвищує міцність валка в цілому. Виконання же порожнини бочки у вигляді двох зрізаних конусів зі спільною меншою основою істотно спрощує виготовлення валка, оскільки формоутворення зазначеної порожнини достатньо легко здійснити на металообробних верстатах токарної групи.

В основу корисної моделі [12] лежить валок валкових машин містить порожнисту бочку, цапфи з центральним каналом для циркуляції рідкого теплоносія в порожнині бочки, а також рівномірно розташовані по колу вздовж бочки герметичні периферійні канали, заповнені пористим матеріалом, просоченим легкокиплячою рідиною. При цьому кінцеві ділянки кожного з периферійних каналів виконані ізольованими від його середньої ділянки.



- 1 – бочка, 2 – робоча поверхня, 3,4 – цапфи, 5 – центральний канал,
6 – порожнина, 7 – периферійні канали, 8 – кінцеві ділянки,
9 – середня ділянка

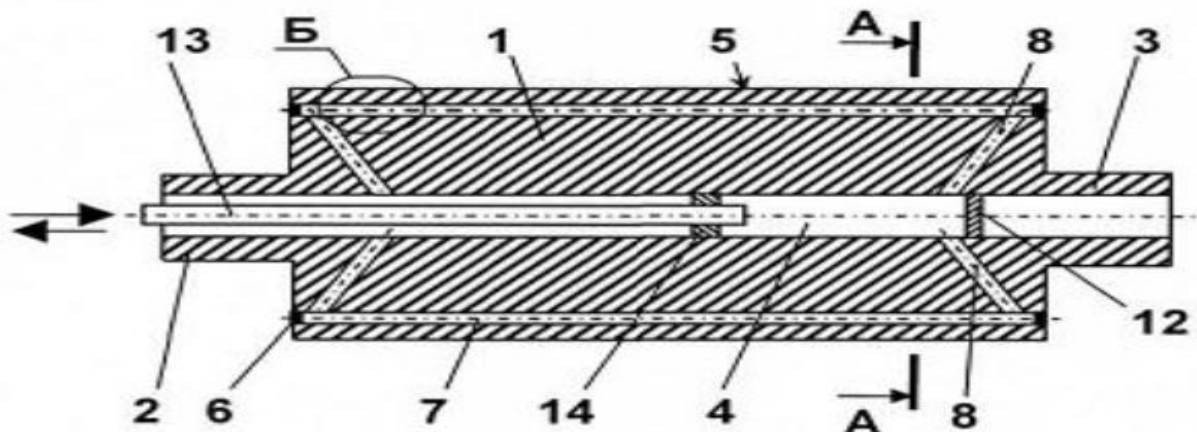
Рис.3.2 – поздовжній розріз валка

Валок валкових машин містить порожнисту бочку 1 з робочою поверхнею 2, цапфи 3 і 4 з центральним каналом 5 для циркуляції рідкого теплоносія в порожнині 6 бочки 1, а також рівномірно розташовані по колу вздовж бочки 1 герметичні периферійні канали 7, заповнені пористим

матеріалом, просоченим легкокиплячою рідиною. Кінцеві ділянки 8 кожного з периферійних каналів 7 виконані ізолюваними від його середньої ділянки 9 для забезпечення в них певного температурного режиму.

Виконання кінцевих ділянок 8 кожного з периферійних каналів 7 ізолюваними від його 5 середньої ділянки 9 дає змогу забезпечити в них певний температурний режим, а отже, й більш рівномірне температурне поле на поверхні 2 бочки 1 валка, що сприяє поліпшенню одержуваної продукції на валковій машині.

В основу корисної моделі [13] лежить валок валкових машин містить бочку і цапфи, виконаний вздовж них центральний канал і розташовані вздовж робочої поверхні бочки з нарізними пробками на кінцях периферійні канали, сполучені з центральним каналом за допомогою похилих каналів. В кожному периферійному каналі на його кінцевих ділянках встановлено циліндричні втулки із внутрішніми поздовжніми ребрами.



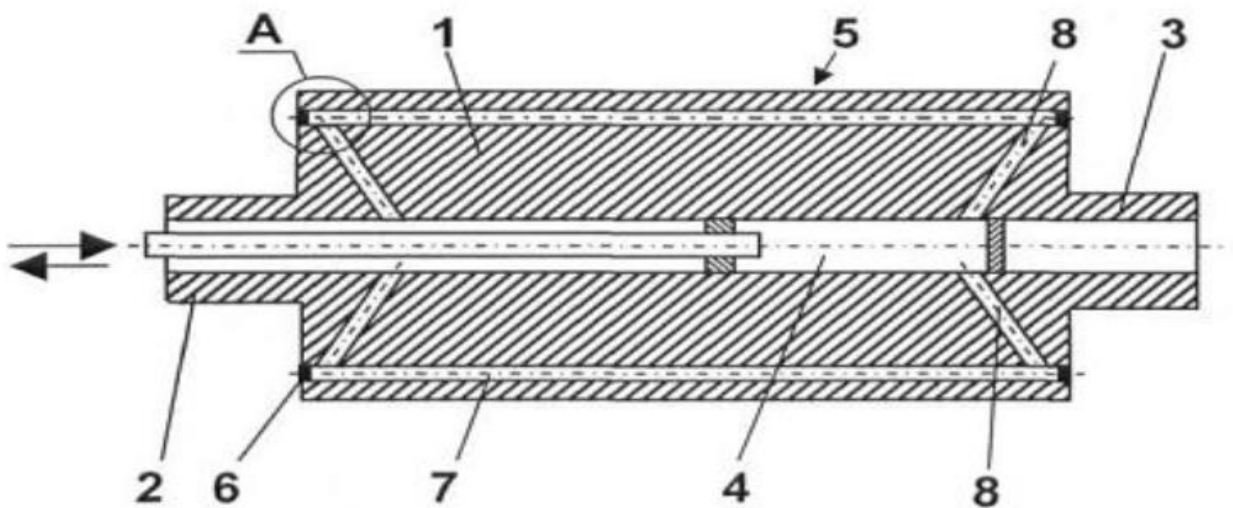
- 1 – бочка, 2,3 – цапфи, 4 – центральний канал, 5 – робоча поверхня,
 6 – нарізні пробки, 7 – периферійні канали, 8 – похилі канали,
 9 – втулки, 10 – поздовжні ребра, 11 – теплоізоляційне покриття,
 12 – заглушка, 13 – труба, 14 – ущільнення.

Рис.3.3 – валок каландра

Валок валкових машин містить бочку 1 і цапфи 2 і 3, виконаний вздовж них центральний канал 4 і розташовані вздовж робочої поверхні 5 бочки 1 з нарізними пробками 6 на кінцях периферійні канали 7, сполучені з центральним каналом 4 за допомогою похилих каналів 8. У кожному

периферійному каналі 7 на його кінцевих ділянках встановлено циліндричні втулки 9 із внутрішніми поздовжніми ребрами 10, які можуть бути розташовані під гострим кутом β до осі відповідної втулки 9. Крім того, поздовжні ребра 10 кожної втулки 9 можуть бути виконані з боку робочої поверхні 5 бочки 1, при цьому протилежна їм внутрішня поверхня втулки містить теплоізоляційне покриття 11. Валок також споряджено заглушкою 12 і трубою 13 з ущільненням 14.

В основу корисної моделі [14] Валок валкових машин містить бочку і цапфи, виконаний вздовж них центральний канал і розташовані вздовж робочої поверхні бочки з пробками на кінцях периферійні канали, сполучені з центральним каналом за допомогою похилих каналів, при цьому пробки кожного периферійного каналу з'єднано між собою турбулізатором, причому кожний турбулізатор виконано у вигляді циліндричної пружини з дроту трикутного поперечного перерізу, при цьому витки пружини виконано з можливістю контакту зі стінкою відповідного периферійного каналу плоскою поверхнею.



1 – бочка, 2,3 – цапфи, 4 – центральний канал, 5 – робоча поверхня,
6 – пробки, 7 – периферійні канали, 8 – похилі канали

Рис.3.4 – валок каландра

Валок валкових машин містить бочку 1 і цапфи 2 і 3, виконаний вздовж

них центральний канал 4 і розташовані вздовж робочої поверхні 5 бочки 1 з пробками 6 на кінцях периферійні канали 7, сполучені з центральним каналом 4 за допомогою похилих каналів 8. Пробки 6 кожного периферійного каналу 7 з'єднано між собою турбулізатором, виконаним у вигляді циліндричної пружини 9 з дроту трикутного поперечного перерізу, при цьому витки пружини 9 виконано з можливістю контакту зі стінкою відповідного периферійного каналу 7 плоскою поверхнею. Циліндричні пружини 9 можуть бути виконано з матеріалу з меншим електродним потенціалом порівняно з електродним потенціалом матеріалу валка (наприклад зі сплаву на основі цинку).

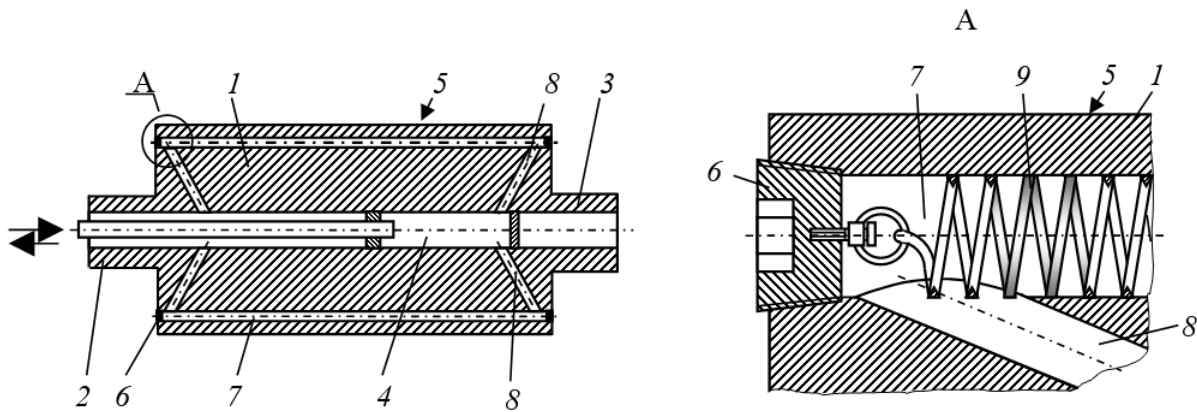
Витки кожної пружини 9 не лише сприяють руйнуванню примежового шару рідкого теплоносія в периферійних каналах 7, що інтенсифікує процес теплообміну, а також унаслідок коливань пружин 9 під дією потоку теплоносія забезпечують очищення поверхонь каналів 7 від 10 забруднень (дріт пружин 9 трикутного поперечного перерізу зішкрібає забруднення як ножем).

В основу корисної моделі [15] лежить вдосконалений валок містить бочку 1 і цапфи 2 і 3, виконаний вздовж них центральний канал 4 і розташовані вздовж робочої поверхні 5 бочки 1 з пробками 6 на кінцях периферійні канали 7, сполучені з центральним каналом 4 за допомогою похилих каналів 8. Пробки 6 кожного периферійного каналу 7 з'єднано між собою турбулізатором, виконаним у вигляді циліндричної пружини 9 з дроту трикутного поперечного перерізу, при цьому витки пружини 9 виконано з можливістю контакту зі стінкою відповідного периферійного каналу 7 плоскою поверхнею.

Валок, що містить бочку і цапфи, виконаний вздовж них центральний канал і розташовані вздовж робочої поверхні бочки з пробками на кінцях периферійні канали, сполучені з центральним каналом за допомогою похилих каналів, при цьому пробки кожного периферійного каналу з'єднано між собою турбулізатором, виконаним у вигляді металевої стрічки. Конструкція цього валка за рахунок турбулізації теплоносія в периферійних каналах підвищує ефективність теплообміну, проте виконання турбулізатора у вигляді металевої стрічки не забезпечує руйнування примежового шару рідкого теплоносія в

периферійних каналах, а також не забезпечує очищення їх поверхонь від забруднень різного характеру. Крім того, застосування як теплоносія води поступово призводить до корозії валка.

Теплоносій по центральному каналу 4 надходить у праві похилі канали 8, проходить по периферійним каналам 7, а далі крізь ліві похилі канали 8 і центральний канал 4 видаляється за межі валка.



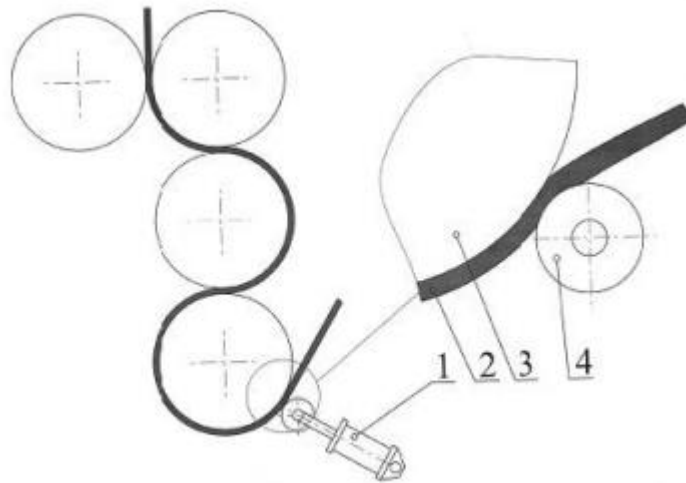
- 1 – бочка; 2,3 – цапфи; 4 – центральний канал; 5 – робоча поверхня;
6 – пробки; 7 – периферійний канал; 8 – похилий канал;
9 – турбулізатор.

Рисунок 3.5 – удосконалений валок вальців для перероблення гумових сумішей

Витки кожної пружини 9 не лише сприяють руйнуванню примежового шару рідкого теплоносія в периферійних каналах 7, що інтенсифікує процес теплообміну, а також унаслідок коливань пружин 9 під дією потоку теплоносія забезпечують очищення поверхонь каналів 7 від забруднень (дріт пружин 9 трикутного поперечного перерізу зішкрібає забруднення як ножем).

Задача корисної моделі [16] полягати знімання листа з останнього вала каландра. Задача вирішується шляхом встановлення пристрою знімання листів з каландра, який 10 складається з двох гідроциліндрів 1 та двох додаткових валів 4, які мають менший діаметр, ніж вал, з якого знімається лист 3. Додаткові вали мають довжину не більше 0,25 значення ширини листа, що знімається 2, та кріпляться до штоків гідроциліндрів з можливістю вільного

обертання навколо своєї осі. Пристрій кріпиться до каландра таким чином, що додаткові вали не торкаються листа що 15 знімається 2 у крайньому положенні штоків гідроциліндрів, та притискаються до листа що знімається у робочому положенні штоків гідроциліндрів, але не торкаються вала каландра при відсутності листа, що знімається. Місце контакту додаткових валів з листом, що знімається, розташоване на відстані 3÷5 товщини листа, що знімається, до лінії, де лист відривається від останнього вала каландра. Осі штоків розташовані



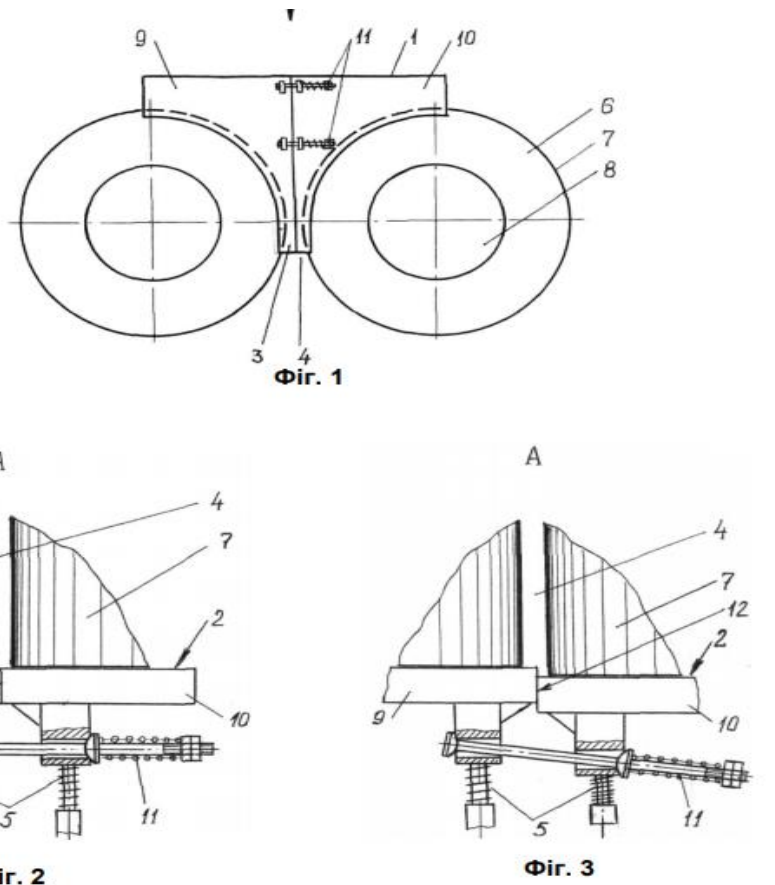
перпендикулярно до поверхні вала 20 каландра, з якого знімається лист.

1 – гідроциліндр; 2 – стрічка(виріб); 3 – вал; 4 – додаткові валки;

Рисунок 3.6 – пристрій знімання листів

В основу корисної моделі [17] покладено задачу створити таку обмежувальну стрілу валкових машин, у якій нове виконання робочого елемента стріли та умови його взаємодії з валками машини забезпечили б гарантований контакт робочого елемента з валками й відсутність між ними зазорів для проходження перероблюваного матеріалу й за рахунок цього підвищили б надійність валкової машини в цілому, а також знизили б втрати часу на її обслуговування. Поставлена задача вирішується тим, що в обмежувальній стрілі валкових машин, що містить робочий елемент з плоскою бічною поверхнею й подовженою ділянкою, яка перекриває міжвалковий зазор, і притискний пристрій для забезпечення контакту плоскої бічної поверхні робочого елемента з торцями бочок валків, згідно з пропонованою корисною

моделлю, новим є те, що робочий елемент стріли складається з двох частин, встановлених з можливістю взаємодії одна з одною за допомогою пружних елементів по площині, що проходить крізь міжвалковий зазор.

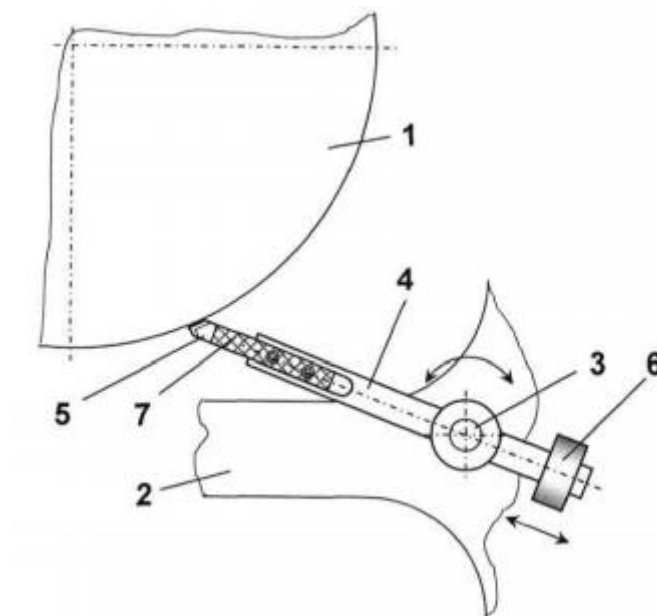


1 – робочий елемент; 2 – бічна поверхня; 3 – подовжена ділянка; 4 – міжвалковий зазор; 5 – притисний пристрій; 6 – торець; 7 – бочка; 8 – валок; 5 – притисний пристрій; 6 – торець; 7 – бочка; 8 – валок; 9,10 – частини робочого елемента; 11 – пружні елементи; 12 – площа контакту; 13 – вісь валка

Рисунок 3.7 – пристрій знімання листів

В основу корисної моделі [18] поставлена задача вдосконалення ножа для поздовжнього розрізання рулонного матеріалу на валку валкової машини, у якому його нове конструктивне виконання забезпечує теплоізолювання леза, а отже істотно сповільнює його охолодження під час роботи ножа і таким чином знижує зусилля різання й забезпечує високу якість різку рулонного матеріалу.

Поставлена задача вирішується тим, що в ножі для поздовжнього розрізання рулонного матеріалу на валку валкової машини, що містить закріплювану на станині машини вісь, розміщений на ній з можливістю поздовжнього переміщення й повороту кронштейн, а також закріплені на кронштейні лезо й противагу, згідно з корисною моделлю, новим є те, що лезо споряджено теплоізоляційним покриттям. У найприйнятнішому прикладі виконання ножа як теплоізоляційне покриття застосовано склострічку.

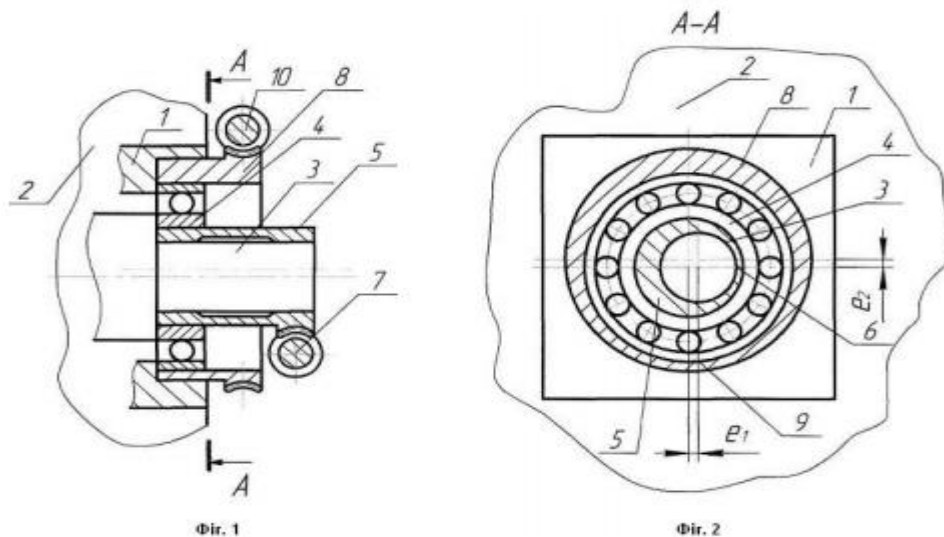


1 – валок; 2 – станина; 3 – вісь; 4 – кронштейн; 5 – лезо; 6 – противага;
7 – теплоізоляційне покриття

Рисунок 3.8 – ніж поздовжнього різання

В основу корисної моделі [19] поставлена задача підвищення продуктивності і обслуговування валкових машин. Поставлена задача вирішується тим, що у валкових машинах зі змінним положенням валків для переробки полімерних матеріалів і гумових сумішей, що містить привід, валки, встановлені в корпусах підшипникових вузлів на станині, і ексцентричні втулки, новим є те, що в корпусах підшипникових вузлів встановлено по кілька ексцентричних втулок, оснащених механізмами повороту, причому одні з втулок встановлено між цапфами і внутрішніми кільцями підшипників, інші – між корпусами підшипників і їх зовнішніми кільцями. Суть конструкції корисної моделі пояснюється кресленнями. На Фіг.1 зображено механізм

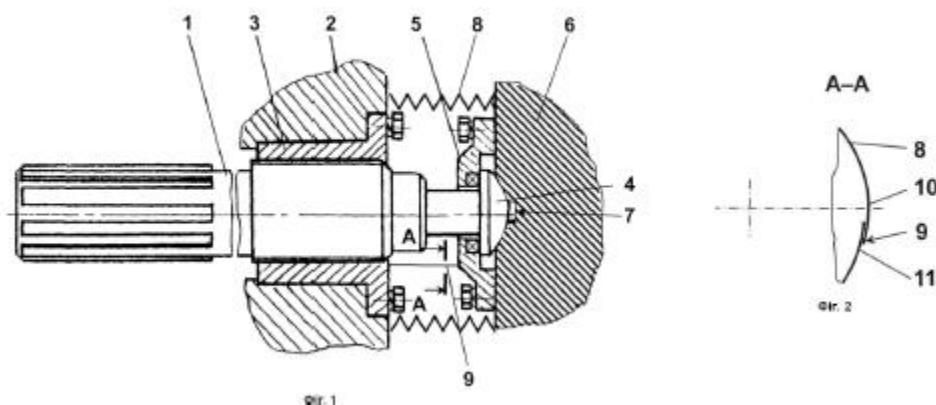
регулювання величини перехрещення валків. На Фіг.2 - переріз А-А на Фіг.1.



1 – корпус підшипника; 2 – станина; 3 – цапфа; 4 – внутрішні кільця підшипника; 5,8 – ексцентричні втулки; 6 – втулка; 7,10 – механізм повороту і фіксації; 9 – додаткова втулка;

Рисунок 3.9 – механізм перехрещення валків

В основу корисної моделі [20] покладено задачу вдосконалення вузла упорного гвинта механізму регулювання міжвалкового проміжку валкової машини, у якому його нове конструктивне виконання спрощує встановлення гнучкої оболонки у вузол і знімання її з нього, що у свою чергу спрощує експлуатацію як вузла, так і валкової машини в цілому.



1 – упорний гвинт; 2 – станина; 3 – гайка; 4 – п'ята; 5 – кришка; 6 – корпус; 7 – підп'ятник; 8 – гнучка оболонка 9 – поздовжній розріз; 9,10 – ділянки оболонки

Рисунок 3.10 – вузол упорного гвинта

Поставлена задача вирішується тим, що у вузлі упорного гвинта механізму регулювання міжвалкового проміжку валкової машини, що містить закріплену в її станині гайку, розміщений у ній упорний гвинт із п'ятою для взаємодії з кришкою корпусу валкового підшипника з одного боку та з підп'ятником з іншого, при цьому ділянку упорного гвинта між його п'ятою й гайкою розміщено всередині гнучкої оболонки з основами, зафіксованими на станині валкової машини й корпусі валкового підшипника, згідно з пропонованою корисною моделлю новим є те, що гнучку оболонку виконано з поздовжнім розрізом. У найприйнятнішому прикладі виконання вузла ділянки оболонки з боку поздовжнього розрізу з'єднано між собою внапуск.

3.3 Мета роботи

В останні роки стала помітною тенденція створення універсальних каландрів, що мають невеликі габарити, низьку питому енерго- і матеріалоемність, зручні в обслуговуванні та експлуатації, устатковані надійними пристроями для компенсації прогину валків і регулювання міжвалкових проміжків. Більшості зазначених вимог задовольняють чотирьохвалкові Z і S-подібні каландри.

До основних недоліків можна віднести:

- знос при роботі поверхні валків машини: погіршується їх якість, з'являються локальні вм'ятини;
- значна товщина стінок бочки (робочої частини валка) є основною причиною поганого теплообміну між робочою поверхнею та термостатичною рідиною, завдяки чому є невисока якість листів, які отримуються на вальцях, а саме непостійність товщини листа вздовж його ширини;
- невисока продуктивність вальців.

Для усунення наведених недоліків конструкції машини, досягнення збільшення продуктивності та підвищення якості виробництва необхідна модернізація вальців для виробництва транспортерних стрічок, тобто

модернізація конструкції охолоджуючого барабану вальців на основі наступних технічних рішень:

Модернізація охолоджуючого барабана вальців полягає в застосуванні 24 отворів в корпусі вальця які зв'язані з охолоджуючим каналом. Це призводить до збільшення коефіцієнту тепловіддачі від метала до циркулюючій в порожнині охолоджуючої води, наслідком чого буде:

- підвищення швидкості охолодження листа, що є дуже важливим фактором, який веде до підвищення годинної продуктивності та якості зі зміною ціни;
- підвищення надійності та довговічності машини, тобто підвищується термін роботи машини без поломок;
- зменшення браку в виробництві, що мав місце в результаті нерівномірного охолодження вальців;
- зменшення металоємності та маси конструкції.

Модернізація упорного гвинта механізму регулювання зазору полягає в виконанні захисної камери з гнучкої оболонки з поздовжнім розрізом, що істотно спрощує встановлення гнучкої оболонки у вузол і знімання її з нього. Це дозволяє збільшити довговічність і зручність використання і обслуговування даного вузла, та призводить:

- полегшення доступу до вузла
- захист від потрапляння на робочий орган матеріалу та мастила
- покращує надійність роботи упорного гвинта

4 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ МОДЕРНІЗАЦІЇ

На основі розглянутих вище патентів можна зробити висновок, що найбільш актуальним питанням вдосконалення валкових машин та каландрів є інтенсифікація теплопередачі від теплоносія у валках до перероблюваного матеріалу. Пропоновані технічні рішення істотно розширюють технологічні можливості каландра та якість одержуваної продукції, але кожне з них має свої недоліки. Також для збільшення довговічності одного з найнапруженіших вузлів каландра упорного гвинта.

Тому прийнявши до уваги результати літературно-патентних досліджень в основу модернізації магістерської дисертації покладено задачу вдосконалення валка каландра та механізму регулювання зазору вузла упорного гвинта

В основу корисної моделі [14] поставлено задачу вдосконалити валок валкових машин, в якому нове виконання турбулізаторів його периферійних каналів забезпечує руйнування примежового шару рідкого теплоносія в периферійних каналах, а отже підвищує ефективність теплообміну в них, очищення відкладень на поверхнях периферійних каналів безпосередньо під час роботи валка, а також попереджує корозію валка, що підвищує його надійність.

Поставлена задача вирішується тим, що у валку валкових машин, що містить бочку і цапфи, виконаний вздовж них центральний канал і розташовані вздовж робочої поверхні бочки з пробками на кінцях периферійні канали, сполучені з центральним каналом за допомогою похилих каналів, при цьому пробки кожного периферійного каналу з'єднано між собою турбулізатором, згідно з пропонованою корисною моделлю новим є те, що кожний турбулізатор виконано у вигляді циліндричної пружини з дроту трикутного поперечного перерізу, при цьому витки пружини виконано з можливістю контакту зі стінкою відповідного периферійного каналу плоскою поверхнею.

У найприйнятнішому прикладі виконання валка циліндричні пружини виконано з матеріалу з меншим електродним потенціалом порівняно з електродним потенціалом матеріалу валка. Спорядження леза теплоізоляційним покриттям, наприклад у вигляді достатньо міцної склострічки, забезпечує

істотне зниження теплових втрат від леза в навколишнє середовище під час різання розігрітого на валковій машині рулонного матеріалу, а отже й різання рулонного матеріалу не охолодженим, а теплим лезом, що не лише знижує зусилля різання, а й забезпечує високу якість різу рулонного матеріалу.

Суть корисної моделі пояснюється рисунком 3.5, на яких зображено: на Рис. 1 - поздовжній розріз валка; на Рис. 2 - виносний елемент А на Рис. 1.

Валок валкових машин містить бочку 1 і цапфи 2 і 3, виконаний вздовж них центральний канал 4 і розташовані вздовж робочої поверхні 5 бочки 1 з пробками 6 на кінцях периферійні канали 7, сполучені з центральним каналом 4 за допомогою похилих каналів 8 (Рис. 1). Пробки 6 кожного периферійного каналу 7 з'єднано між собою турбулізатором, виконаним у вигляді циліндричної пружини 9 з дроту трикутного поперечного перерізу, при цьому витки пружини 9 виконано з можливістю контакту зі стінкою відповідного периферійного каналу 7 плоскою поверхнею (Рис. 2). Циліндричні пружини 9 можуть бути виконано з матеріалу з меншим електродним потенціалом порівняно з електродним потенціалом матеріалу валка (наприклад зі сплаву на основі цинку).

Витки кожної пружини 9 не лише сприяють руйнуванню примежового шару рідкого теплоносія в периферійних каналах 7, що інтенсифікує процес теплообміну, а також унаслідок коливань пружин 9 під дією потоку теплоносія забезпечують очищення поверхонь каналів 7 від забруднень (дріт пружин 9 трикутного поперечного перерізу зішкрібає забруднення як ножем).

Виконання же циліндричних пружин 9 з матеріалу з меншим електродним потенціалом порівняно з електродним потенціалом матеріалу валка під час роботи валка приводить до корозійного руйнування матеріалу саме з меншим електродним потенціалом, тобто пружин 9, а не сталевого або чавунного валка.

Конструкція валка, що розглянуто, істотно підвищує ефективність роботи валкової машини в цілому.

Для збільшення довговічності і зручності використання вузла упорного гвинта виконуємо захисну камеру з гнучкої оболонки з поздовжнім розрізом, що істотно спрощує встановлення гнучкої оболонки у вузол і знімання її з

нього. Для цього потрібно просто звільнити основи гнучкої оболонки зі станини валкової машини й корпусу валкового підшипника та, "розгорнувши" оболонку, зняти її з вузла. Аналогічно здійснюють і встановлення її у вузол. З'єднання же ділянок оболонки з боку поздовжнього розрізу між собою внапуск підвищує надійність ущільнення поздовжнього розрізу гнучкої оболонки. Фіксацію основ оболонки на станині й корпусі валкового підшипника можна здійснити, наприклад, за допомогою швидко знімних хомутів.

5 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ

5.1 Математична модель процесу каландрування

Для виконання параметричного і теплового розрахунку каландра необхідно скласти і розв'язати математичні моделі процесу течії розплаву гуми у міжвалковому проміжку і процесу теплообміну на валку [3].

Неізотермічна течія розплаву матеріалу в міжвалковому зазорі описується системою диференціальних рівнянь нерозривності, руху, енергії й рівняння, що характеризує закон течії розплаву матеріалу.

Для спрощення розв'язання задачі прийнято такі допущення [5]:

- матеріал, що переробляється, нестискний;
- величина міжвалкового проміжку на два–три порядки менше діаметра та довжини бочки валка;
- прискорення матеріалу настільки мале, що ним можна знехтувати;
- вага матеріалу у проміжку мала, тому нею нехтуємо;
- переміщення матеріалу вздовж твірної бочки валка відсутнє;
- при контакті з поверхнею валка матеріал прилипає до нього;
- рух розплаву матеріалу в зазорі є плоскопаралельним;
- тиск на початку і кінці зони деформації міжвалкового проміжку дорівнює нулю, тобто при $x = x_H$ і при $x = x_K$ $p = 0$.

З урахуванням прийнятих допущень диференціальні рівняння, що описують процес течії розплаву матеріалу в проміжку набудуть вигляду:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0; \quad (0.1)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0; \quad (0.2)$$

$$\rho_n c_{pn} V_x \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial q_y}{\partial y} + q_{diss}; \quad (0.3)$$

$$\tau_{xy} = K \left| \frac{\partial V_x}{\partial y} \right|^{n-1} \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} \right) \quad (0.4)$$

При цьому залежність коефіцієнта консистентності K від температури визначається виразом:

$$K = K_0 \exp \left(-\beta \frac{T - T_0}{T_0} \right) \quad (0.5)$$

де V_x і V_y – складові швидкості полімеру вздовж осей x і y (рисунки 4.1); p – тиск у міжвалковому проміжку; τ_{xy} – дотичне напруження; ρ_n і c_{pn} – щільність і питома масова теплоємність розплаву полімеру; q_y – питомий тепловий потік у напрямку осі y ; q_{diss} – інтенсивність енергії дисипації; K_0 – коефіцієнт консистентності, визначений при температурі T_0 ; n – показник ступеня реологічного рівняння; β – температурний коефіцієнт розплаву полімеру.

Початкова і граничні умови по температурі:

$$\text{при } x = x_H, \quad T = T_H(y); \quad (0.6)$$

$$\text{при } y = -H, \quad T = T_{BT}; \quad (0.7)$$

$$\text{при } y = +H, \quad T = T_{BB} \quad (0.8)$$

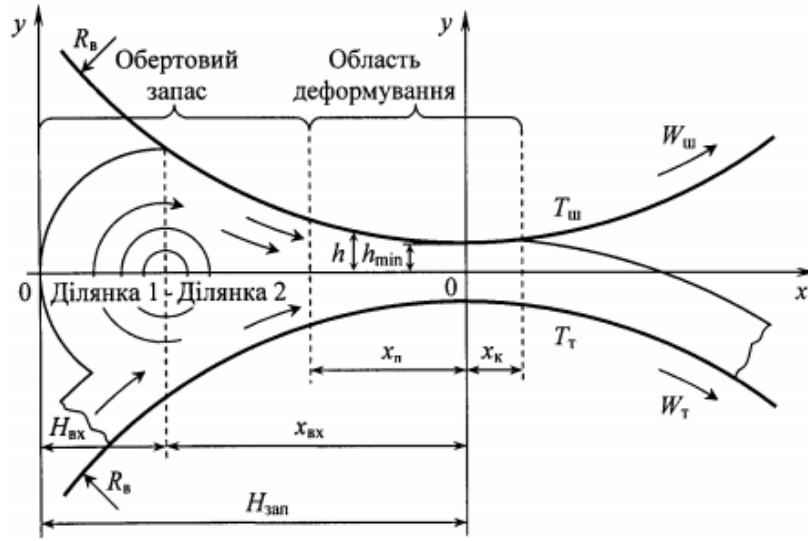
Граничні умови по швидкості [9]:

$$\text{при } y = -H, \quad V_x = V_{BT} = \phi V_{BB}; \quad (0.9)$$

$$\text{при } y = +H, \quad V_x = V_{BB1}, \quad (0.10)$$

де ϕ – коефіцієнт фракції:

$$\varphi = \frac{V_{BT}}{V_{BB}} \quad (0.11)$$



Де x, y – координати, спрямовані вздовж і поперек міжвалкового проміжку; $x_{вх}, x_п, x_к$ – координати входу матеріалу в міжвалковий проміжок, початку й кінця області деформування; R_B – радіус валка; $W_ш, W_т$ – колові швидкості швидкохідного й тихохідного валків; h, h_{min} – половина поточної й мінімальної величин міжвалкового проміжку; $T_ш, T_т$ – температури швидкохідного й тихохідного валків; $H_{зап}, H_{вх}$ – загальна висота запасу й висота запасу на ділянці 1 обертового запасу.

Рис. 5.1 – Схема течії розплаву матеріалу в міжвалковому проміжку

Систему рівнянь (0.4)- (0.5) розв'язуємо, вводячи безрозмірнісні змінні ρ і η (0.3):

$$\rho = \frac{x}{\sqrt{2R_B H_0}}, \quad \eta = \frac{y}{H}, \quad (0.12)$$

при цьому

$$H = H_0 + \frac{x^2}{2R_B} \approx H_0(1 + \rho^2). \quad (0.13)$$

Розв'язок системи рівнянь (0.1)– (0.5) при початковому (0.6) і граничних (0.7)–(0.10) дозволить визначити:

- температурне поле матеріалу в будь-якому перерізі міжвалкового проміжку;
- зусилля, що діють на валки;
- крутні моменти, що діють на валки, а отже, – потужність приводу валків;
- значення енергії дисипації, одержуваної матеріалом при необоротній деформації зсуву в міжвалковому проміжку.

Для визначення температурного поля матеріалу на валку необхідно розв'язати диференціальне рівняння нестационарної теплопровідності, записане в циліндричних координатах при визначених початкових і граничних умовах.

З метою спрощення вихідного рівняння приймемо ряд припущень [5]:

- рух шарів матеріалу один відносно одного відсутній;
- перенос теплоти здійснюється рівномірно вісесиметрично вздовж радіуса валка за рахунок теплопровідності; переносом теплоти уздовж осі валка нехтуємо;
- розміри формованого виробу, що знаходиться на валку, за межами міжвалкового проміжку залишаються постійними;
- матеріал прилипає до валка;
- перенесення теплоти всередині матеріалу здійснюється теплопровідністю за законом Фур'є:

$$q_r = -\lambda_{II} \frac{\partial T}{\partial r}, \quad (0.14)$$

де q_r – питомий тепловий потік уздовж осі r , сполученої з радіусом валка: λ_{II} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу.

З урахуванням прийнятих припущень рівняння нестационарної теплопровідності набуде вигляду:

$$\rho_{II} c_{PII} \frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_{II} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\lambda_{II}}{r} \frac{\partial T}{\partial r}, \quad (0.15)$$

де t – час.

Початковою умовою є розподіл температури матеріалу на вході в розглянуту ділянку, що відповідає розподілу температури на виході з попередньої ділянки:

$$T|_r = T(r), \quad (0.16)$$

Граничні умови по температурі:

$$T|_{r=R_B} = T_B, \quad \lambda_{II} \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_B+\delta} = \omega (T|_{r=R_B+\delta} - T_C), \quad (0.17)$$

де ω – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні матеріалу до навколишнього середовища.

Спільне розв'язання рівняння (0.15) при початкових (0.16) і граничних (0.17) умовах дає можливість визначити температурне поле матеріалу при теплообміні матеріалу з валком з однієї сторони і з навколишнім середовищем з іншої в процесі формування виробу.

Розглянемо тепер безпосередньо методику параметричного і теплового розрахунку каландра [3].

5.1.1 Визначення величини міжвалкового проміжку і швидкостей валків

Кругова швидкість робочої поверхні нижнього виносного валка, визначається:

$$v_{B4} = \frac{G}{3600 \rho_n B \delta} \quad (0.18)$$

Для гарантованого переходу формованого виробу з валка на валок від місця завантаження до місця знімання виробу з каландра (Рис. 5.2) кожен наступний валок має температуру на 3...8 °С вище за температуру робочої поверхні попереднього.

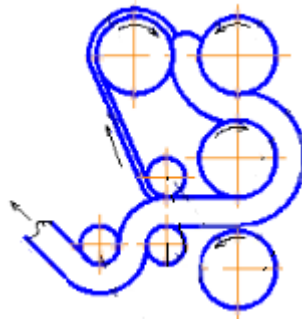


Рис. 5.2 – До визначення швидкостей валків

Швидкість інших трьох валків каландра:

$$\begin{aligned} v_{B3} &= \frac{v_{B4}}{\varphi_3}, \\ v_{B2} &= \frac{v_{B3}}{\varphi_2}, \\ v_{B1} &= \frac{v_{B2}}{\varphi_1}, \end{aligned} \tag{0.19}$$

де φ_j – коефіцієнт фрикції в j -му проміжку.

Після визначення швидкостей валків необхідно розрахувати величини міжвалкових проміжків.

Продуктивність каландра складає:

$$G = L_{\rho\pi} \sigma_i v_i \tag{0.20}$$

де L – відстань між обмежувальними стрілами.

З іншого боку, продуктивність каландра можна визначити масовою витратою матеріалу через j -й міжвалковий проміжок ($j=1,2,3$):

$$G = L_{\rho II} k v_{Bij} (1 + \varphi_j) H_{oj} (1 + \rho_k^2), \quad (0.21)$$

де ρ_k – безрозмірна координата кінця зони деформації проміжку.

Тоді величини проміжків складають:

$$\begin{aligned} 2H_{o1} &= \frac{2\nu_1 \sigma_i}{\nu_{Bij} (1 + \varphi_1) (1 + \rho_k^2)} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 1150}{1,32(1 + 1,3)(1 + 0,2^2)} = 0,00128 \text{ м}, \\ 2H_{o2} &= \frac{2\nu_2 \sigma_i}{\nu_{Bij} (1 + \varphi_2) (1 + \rho_k^2)} = \frac{2 \cdot 0,33 \cdot 1150}{1,32(1 + 1,1)(1 + 0,2^2)} = 0,00108 \text{ м}, \\ 2H_{o3} &= \frac{2\nu_3 \sigma_i}{\nu_{Bij} (1 + \varphi_3) (1 + \rho_k^2)} = \frac{2 \cdot 0,37 \cdot 1150}{1,32(1 + 1)(1 + 0,2^2)} = 0,00104 \text{ м} \end{aligned} \quad (0.22)$$

Товщина ж формованого виробу після виходу з $(i-1)$ -го проміжку визначається виразом:

$$\begin{aligned} \delta_1 &= H_{oj-1} (1 + \varphi_1) (1 + \rho_k^2) = 0,00128(1 + 1,3)(1 + 0,2^2) = 0,0031 \text{ м} \\ \delta_2 &= H_{oj-1} (1 + \varphi_2) (1 + \rho_k^2) = 0,00108(1 + 1,3)(1 + 0,2^2) = 0,0045 \text{ м} \\ \delta_3 &= H_{oj-1} (1 + \varphi_3) (1 + \rho_k^2) = 0,00104(1 + 1,3)(1 + 0,2^2) = 0,0055 \text{ м} \end{aligned} \quad (0.23)$$

5.1.2 Визначення границі зони деформування міжвалкового проміжку

Межами зони деформації є поверхні валків і перетини міжвалкового проміжку, в яких тиск з боку перероблюваного матеріалу дорівнює нулю. У прийнятій системі координат ρ_H і η поверхні валків відповідають

координатам $\eta = \pm 1$, а зазначені перетини, що відповідають початку і кінцю зони деформації, – координатами ρ_H і ρ_k .

Координата ρ_k визначається дослідним шляхом і лежить у межах $|\rho_k| = 0,2 \dots 0,40$.

Координата ρ_H відповідає значенню координати ρ , при якому виконується рівність[8]:

$$\int_{\rho_K}^{\rho_H} \left\{ \frac{[A]^n \operatorname{sign}(A) - [B]^n \operatorname{sign}(B)}{1 + \rho^2} \right\} d\rho = 0 \quad (0.24)$$

$$\text{де, } A = \frac{(1+2n)}{n} \cdot \frac{(1+\varphi)(\rho^2 - \rho_k^2)}{(1+\rho^2)^2} + \frac{1-\varphi}{1+\rho^2} \quad (0.25)$$

$$B = -\frac{(1+2n)}{n} \cdot \frac{(1+\varphi)(\rho^2 - \rho_k^2)}{(1+\rho^2)^2} + \frac{1-\varphi}{1+\rho^2} \quad (0.26)$$

Однією з характеристик міжвалкового проміжку є координата входу матеріалу в проміжок ρ_{Bx} , що визначає положення вільної поверхні обертового запасу, ширина якого складає

$$2H_{Bxj} = 2H_{0j} (1 + \rho_{Bxj}^2). \quad (0.27)$$

Звідси можна визначити координату ρ_{Bx}

$$\rho_{Bxj} = \left(\frac{2H_{Bxj}}{2H_{0j} - 1} \right). \quad (0.28)$$

Для забезпечення достатнього прогріву композиції на вході в

міжвалковий проміжок, перемішування і гомогенізації відношення $\frac{2H_{Bxj}}{2H_{0i}}$ лежить у межах від 5 до 20 [5], що відповідає координаті ρ_{Bxj} , яка дорівнює 2...4,47.

Для розрахунку температурного поля формованого виробу від місця завантаження матеріалу до місця знімання виробу з каландра, а також для визначення втрат тепла з поверхні матеріалу і вільної поверхні валків необхідно знати кути охоплення валків перероблюваним матеріалом, а також кути, що відповідають координатам входу матеріалу в проміжок і виходу його з нього, розраховувачі від площини, що проходить крізь поздовжні осі валків, і утворюють розглянутий проміжок.

Позначимо кут, що відповідає координаті входу матеріалу в j -й між валковий проміжок через $\gamma_{\rho Bxj}$, а кут, що відповідає координаті виходу з проміжку через $\gamma_{\rho Kj}$, можна записати:

$$\gamma_{\rho Bxj} = \arcsin \frac{\gamma_{\rho Bxj} (2R_B H_{oj})^{0,5}}{R_B}; \quad (0.29)$$

$$\gamma_{\rho Kj} = \arcsin \frac{\gamma_{\rho Kj} (2R_B H_{oj})^{0,5}}{R_B}. \quad (0.30)$$

Центральні кути, наведені нижче, відповідають вільній поверхні i -го валка і поверхні валка, покритого матеріалом, і позначені через γ_{CBi} і γ_{Pi} .

Для Г-подібного каландра:

$$\gamma_{CB1} = 360^\circ - \gamma_{\rho BX1} - \gamma_{\rho K1}; \quad (0.31)$$

$$\gamma_{CB2} = 270^\circ - \gamma_{\rho Bx1} - \gamma_{\rho K2}; \quad (0.32)$$

$$\gamma_{CB3} = 180^\circ - \xi - \gamma_{\rho K2}; \quad (0.33)$$

$$\gamma_{CB4} = 360^\circ - \gamma_{\rho BX3} - \gamma_{\rho K3}; \quad (0.34)$$

$$\gamma_{II1} = 0; \quad (0.35)$$

$$\gamma_{II2} = 90^\circ - \gamma_{\rho BX2} - \gamma_{\rho K1}; \quad (0.36)$$

$$\gamma_{II3} = 180^\circ + \xi - \gamma_{\rho BX3} - \gamma_{\rho K2} - \gamma_{\rho K3}; \quad (0.37)$$

$$\gamma_{II4} = 0, \quad (0.38)$$

де ξ – кут знімання виробу з каландра щодо горизонталі.

Температурне поле матеріалу на кожній з ділянок руху формованого виробу розраховується за відповідними рівняннями.

Температурне поле матеріалу при його пліні в міжвалковому проміжку визначається розв'язком рівняння [8]:

$$\left\{ \frac{\rho_{II} C_{PII} V_{II}}{\sqrt{R_B H_0}} \left[1 - 3(1 + \varphi) \left(\rho_2 - \rho_K^2 \right) \frac{1 - \eta^2}{4(1 + \rho^2)} - (1 - \varphi) \frac{1 - \eta}{2} \right] \right\} \frac{\partial T}{\partial \rho} =$$

$$= \left(\frac{\lambda_{II}}{H_0^2 (1 + \rho^2)^2} \right) \frac{\partial^2 T}{\partial \eta^2} + K \left(\frac{V_{II}}{2H_0} \right)^{n+1} \left[3(1 + \varphi) \left(\rho - \rho_K^2 \right) \frac{\eta}{(1 + \rho^2)^2} + \frac{1 - \varphi}{1 + \rho^2} \right]^{n+1} \quad (0.39)$$

з початковою (0.6) і граничними умовами (0.7) і (0.8).

Температурне поле матеріалу при русі на валку визначається розв'язком рівняння (0.15) з початковою (0.16) і граничними (0.17) умовами.

Початковою умовою визначення температурного поля в завантажувальному зазорі є температура матеріалу, який подається на каландр транспортером.

Початковою умовою визначення температурного поля на кожній з ділянок руху формованого виробу на валках каландра є кінцевий розподіл температур на попередній ділянці.

Математичні моделі, що описують температурне поле при формуванні виробу на каландрі являють собою крайові задачі з рівняннями в частинних похідних параболічного типу. Розв'язання таких задач рекомендується здійснювати методом кінцевих різниць [1-3].

Для одержання на каландрах якісних листових матеріалів і розрахунку елементів каландра на міцність і твердість необхідно знати зусилля, які діють на валки машин.

5.1.3 Визначення зусиль, що діють на валки каландра

Зусилля, що діють на валки в процесі переробки, є результатом розпірних зусиль і сил тертя, що діють на валки з боку матеріалу, який деформується в міжвалковому проміжку, а також ваги валків.

Розпірні зусилля, які діють на швидкохідний і тихохідний валки каландра, що утворюють міжвалковий проміжок, становитимуть:

$$F = KLR_B \left(\frac{V_{\bar{o}}}{2H_0} \right)^n \int_{\rho_K}^{\rho_H} \int_{\rho_K}^{\rho} \frac{|A|^n \operatorname{sign}(A) - |B|^n \operatorname{sign}(B)}{1 + \rho^2} d\rho d\rho = 0 \quad (0.40)$$

де A і B визначаються виразом (0.25) і (0.26)

Вектор розпірного зусилля F прикладений до поверхні валка в даному діаметральному перетині в точці, координата $\rho_{\text{ЦГ}}$ якої визначається положенням центра ваги площі S , обмеженої віссю координати ρ і кривою тиску в міжвалковому проміжку:

$$\rho_{\text{ЦГ}} = \frac{\int_{\rho_K}^{\rho_H} \rho ds}{\int_{\rho_K}^{\rho_H} p d\rho}, \quad (0.41)$$

де тиск p визначається залежністю:

$$p = \frac{KV_{\bar{o}}^n (2R_B H_0)^{0,5}}{2^{n+1} H_0^{n+1}} \int_{\rho_K}^{\rho_H} \frac{|A|^n \operatorname{sign}(A) - |B|^n \operatorname{sign}(B)}{1 + \rho^2} \frac{d\rho}{1 + \rho^2}. \quad (0.42)$$

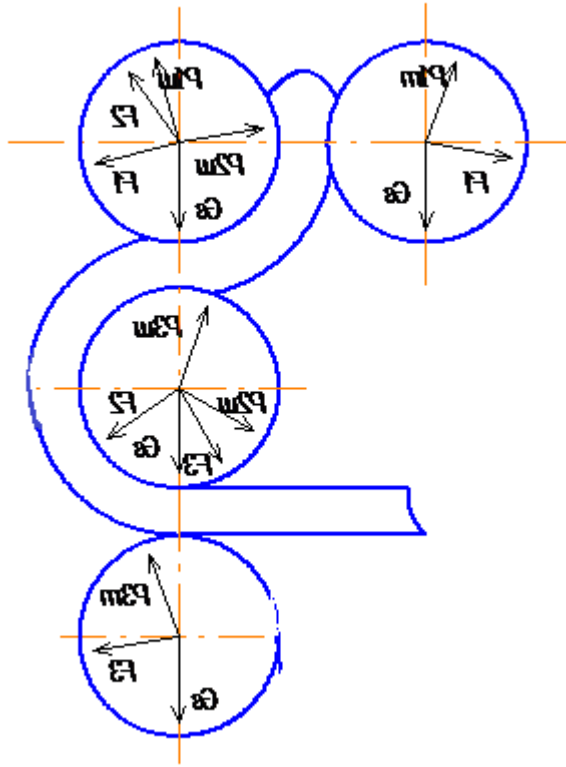


Рис. 5.3 – Схема дії зусиль на валки каландра

Кут β_F (рад) між вектором розпірного зусилля F і площиною, яка проходить через осі валків, що утворюють проміжок, складе:

$$\beta_F = \arcsin \frac{\rho_{\text{ЦТФ}} (2R_B H_o)^{0,5}}{R_B}. \quad (0.43)$$

Тоді величини складової розпірного зусилля, яка лежить у площині, що проходить через осі валків, і нормальної до неї (тобто спрямованих уздовж координатних осей x і y) відповідно рівні:

$$F_x = F \cos \beta_F = F \cos \left(\arcsin \frac{\rho_{\text{ЦТФ}} (2R_B H_o)^{0,5}}{R_B} \right); \quad (0.44)$$

$$F_y = F \sin \beta_F = F \frac{\rho_{\text{ЦТФ}} (2R_B H_0)^{0,5}}{R_B}. \quad (0.45)$$

З боку деформованого в міжвалковому проміжку матеріалу крім тиску на робочу поверхню валків діють дотичні напруження, результатом дії яких є сили, що прикладені до робочих поверхонь валків і створюють момент опору обертанню останніх. Величини цих сил для швидкохідного і тихохідного валків визначаються наступним чином:

$$P_T = -KL(2R_B H_0)^{0,5} \left(\frac{V_{\text{ш}}}{2H_0} \right)^n \int_{\rho_K}^{\rho_{\text{BX}}} |B|^n \text{sign}(B) d\rho; \quad (0.46)$$

$$P_{\text{ш}} = KL(2R_B H_0)^{0,5} \left(\frac{V_{\text{ш}}}{2H_0} \right)^n \int_{\rho_K}^{\rho_{\text{BX}}} |A|^n \text{sign}(A) d\rho. \quad (0.47)$$

Значення кута β_p (рад) між напрямком дії сили P и віссю x визначиться з виразу [8;9]:

$$\beta_p = \arcsin \frac{\rho_{\text{ЦТФ}} (2R_B H_0)^{0,5}}{R_B}, \quad (0.48)$$

де $\rho_{\text{ЦТФ}}$ – точка прикладання сили P до поверхні валка.

Тоді величина складової сили P_x , що лежить у площині, яка проходить через осі валків, складає:

$$P_x = P \rho_{\text{ЦТФ}} \frac{(2R_B H_0)^{0,5}}{R_B}, \quad (0.49)$$

а величина складової, перпендикулярної P_x , дорівнює:

$$P_y = \cos \left(\arcsin \frac{\rho_{\text{ЦТФ}} (2R_B H_O)^{0,5}}{R_B} \right). \quad (0.50)$$

Вектор сумарного зусилля F_B , що діє на розглянутий валок, визначається як сума векторів сили тяжіння валка G_B , розпірних зусиль і сил тертя. Тоді для Г-подібного каландра при схемі руху полімеру, сумарні зусилля, що діють на валок, рівні (Рис. 5.3 – Схема дії зусиль на валки каландра):

$$F_{B1} = \left((F_1 \sin(\omega_{BB} - \beta_{F1}) - G_B + P_{1T} \cos(\omega_{BB} - \beta_{P1T}))^2 + (F_1 \cos(\omega_{BB} - \beta_{F1}) - P_{1T} \sin(\omega_{BB} - \beta_{P1T}))^2 \right)^{0,5}; \quad (0.51)$$

$$F_{B2} = ((F_2 \cos \beta_{F2} + P_{2T} \sin \beta_{P2T} + P_{1III} \sin(\omega_{BB} + \beta_{P1III}) - G_B - F_1 \sin(\omega_{BB} - \beta_{F1}))^2 + (F_2 \sin \beta_{F2} - P_{2T} \cos \beta_{P2T} + P_{1III} \cos(\omega_{BB} + \beta_{P1III}) + F_1 \cos(\omega_{BB} - \beta_{F1}))^2)^{0,5}; \quad (0.52)$$

$$F_{B3} = (F_3 \sin(\omega_{BB} - \beta_{1F3}) + P_{3T} \cos(\omega_{BB} - \beta_{P3T}) + P_{1T} \cos(\omega_{BB} - \beta_{P1T}))^2 + (F_1 \cos(\omega_{BB} - \beta_{F1}) - F_2 \cos \beta_{F2} - F_2 \sin \beta_{P2T})^2 + (F_3 \cos(\omega_{BB} - \beta_{F3}) + P_{2III} \cos \beta_{P2III} - P_{3T} \sin(\omega_{BB} - \beta_{P3T}) - F_2 \sin \beta_{F2})^2)^{0,5}; \quad (0.53)$$

$$F_{B4} = \left((P_{36} \cos(\omega_{BB} + \beta_{p36}) - G_B - F_3 \sin(\omega_{BB} + \beta_{F3}))^2 + (P_{36} \sin(\omega_{BB} + \beta_{p36}) - F_3 \cos(\omega_{BB} + \beta_{F3}))^2 \right)^{0,5}. \quad (0.54)$$

Як видно з Рис. 5.3, кожна дотична до валка сила P замінена статично еквівалентною системою сил: силою P , прикладеною до осі валка, і моменти $M = P \cdot R_B$ [8].

Питоме погонне навантаження на валок визначається з виразу:

$$q_{Bi} = \frac{F_{Bi}}{L}. \quad (0.55)$$

Крутні моменти, діючі на швидкохідний і тихохідний валки розраховуються за залежностями:

$$M_{BIII} = KLR_B(2R_B H_0)^{0,5} \left(\frac{V_{III}}{2H_0} \right)^n \int_{\rho_{KH}}^{\rho_{BX}} \left((1+2n) \frac{(1+\varphi)(\rho^2 - \rho_K^2)}{n(1+\rho^2)^2} + \frac{(1-\varphi)}{1+\rho^2} \right)^n \times$$

(0.56)

$$\times \text{sign}((1+2n) \frac{(1+\varphi)(\rho^2 - \rho_K^2)}{n(1+\rho^2)^2} + \frac{(1-\varphi)}{1+\rho^2}) d\rho;$$

$$M_{BT} = -KLR_B(2R_B H_0)^{0,5} \left(\frac{V_T}{2H_0} \right)^n \int_{\rho_{KH}}^{\rho_{BX}} \left(-(1+2n) \frac{(1+\varphi)(\rho^2 - \rho_K^2)}{n(1+\rho^2)^2} + \frac{(1-\varphi)}{1+\rho^2} \right)^n \times$$

(0.57)

$$\times \text{sign}(-(1+2n) \frac{(1+\varphi)(\rho^2 - \rho_K^2)}{n(1+\rho^2)^2} + \frac{(1-\varphi)}{1+\rho^2}) d\rho.$$

По приведених формулах можна визначити крутні моменти, прикладені до швидкохідного й тихохідного валків каландра. Крутні моменти, прикладені до валків, що утворюють із сусідніми валками mm проміжків, можна визначити за формулою:

$$M_{Bi\Sigma} = \sum_{j=1}^{mm} M_{Bij} + 2M_{ni}, \quad (0.58)$$

де складові M_{Bij} сумарного крутного моменту, $M_{Bi\Sigma}$ i -го валка визначаються за залежностями (0.56) і (0.57), а M_{ni} – момент тертя в підшипнику i -го валка [8;9]

$$M_{ni} = 0,5 \left(100cd_{\Pi} \frac{0,5}{9,81} f_0 F_{\Sigma i} \right) d_{\Pi} 100. \quad (0.59)$$

Для радіальних сферичних дворядних роликпідшипників коефіцієнти залежності (0.59) мають такі значення $c = 0,15$; $f_0 = 0,002$. [8]

5.2 Параметричний і тепловий розрахунки каландра

Мета розрахунку – визначення параметрів каландра (швидкостей валків, розпірних зусиль, потужностей, що підводяться до валків, розподіл температур в процесі каландрування) для вибору приводних електродвигунів каландра і наступного розрахунку елементів каландра. Перевірка каландра на міцність і жорсткість.

Вихідні дані:

Привід валків – індивідуальний;

Валки з периферійними каналами;

Радіус бочки валка, м	0.355
Маса валка, кг	5500
Товщина готового полотна, м	0.00120
Ширина готового полотна, м	1.60
Швидкість знімання полотна, м/с	0.5
Знімання полотна здійснюється з 3 -го валка під кутом 30° до горизонту	
Фрикція в 1-му проміжку	1.30
Фрикція в 2-му проміжку	1.10
Фрикція в 3-му проміжку	1.00
Температура 1-го валка, °C	150.0
Температура 2-го валка, °C	155.0
Температура 3-го валка, °C	160.0
Температура 4-го валка, °C	155.0
Початкова температура матеріалу, °C	150.0
Максимально допустима температура матеріалу, °C	180
Теплоносії	вода

Реологічні характеристики матеріалу:

показник степені реологічного рівняння	0.210
температурний коефіцієнт	7.50
коефіцієнт консистентності, $Па \cdot c^n$	120000.0

температура визначення коефіцієнта консистентності, °C	150.0
Теплофізичні характеристики матеріалу:	
густина, кг/м ³	1350.0
питома масова теплоємність, Дж/(кг · К)	1800.0
коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м · К)	0.180

5.2.1 Визначення потужності привода каландра

Потужність групового привода каландра, ККД якого дорівнює $\eta_{\Pi\Sigma}$, визначається за формулою:

$$N_{\Pi} = \frac{N_{i\Sigma}}{\eta_{\Pi\Sigma}} \quad (0.60)$$

де загальна потужність $N_{i\Sigma}$, що діє на валки, які обертаються з круговою швидкістю ω_i , визначається сумою потужностей, які розраховуються для кожного валка за залежністю:

$$N_{B1} = M_{Bi\Sigma} \omega_{Bi} = \frac{M_{Bi\Sigma} \cdot V_{Bi}}{R_B}, \quad (0.61)$$

ККД групового привода визначається таким чином:

$$\eta_{\Pi\Sigma} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5^m = 0,78, \quad (0.62)$$

де $\eta_1 = 0,99$ – ККД електродвигуна; $\eta_2 = 0,99$ – ККД втулково-пальцевої муфти; $\eta_3 = 0,90$ – ККД блок-редуктора; $\eta_4 = 0,99$ – ККД зубчастої муфти; $\eta_5 = 0,90$ – ККД універсального шпинделя.

При індивідуальному приводі кожного з валків, потужності електродвигунів, необхідні для забезпечення крутних моментів, визначаються за формулою:

$$\begin{aligned}
 N_{PB1} &= \frac{M_{Bi\Sigma} \omega_{Bi}}{\eta_{PB}} = \frac{M_{Bi\Sigma} V_B}{R_B \eta_{PB}} = \frac{17 \cdot 0,25}{0,355 \cdot 0,78} = 12,6 \text{ кВт}, \\
 N_{PB2} &= \frac{M_{Bi\Sigma} \omega_{Bi}}{\eta_{PB}} = \frac{M_{Bi\Sigma} V_B}{R_B \eta_{PB}} = \frac{17,4 \cdot 0,33}{0,355 \cdot 0,78} = 26,2 \text{ кВт}, \\
 N_{PB3} &= \frac{M_{Bi\Sigma} \omega_{Bi}}{\eta_{PB}} = \frac{M_{Bi\Sigma} V_B}{R_B \eta_{PB}} = \frac{18,9 \cdot 0,37}{0,355 \cdot 0,78} = 18,2 \text{ кВт}, \\
 N_{PB4} &= \frac{M_{Bi\Sigma} \omega_{Bi}}{\eta_{PB}} = \frac{M_{Bi\Sigma} V_B}{R_B \eta_{PB}} = \frac{11 \cdot 0,37}{0,355 \cdot 0,78} = 9,0 \text{ кВт},
 \end{aligned} \tag{0.63}$$

де $\eta_{PB} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5$ – ККД привода окремого валка.

На підставі виконаного розрахунку потужностей виконується підбір електродвигунів.

Після параметричного розрахунку каландра виконується тепловий розрахунок його валків.

Для швидкохідного і тихохідного валків величина G_B може бути визначена з виразів:

$$G_{Bi} = \frac{G(3 + \varphi)}{4} \tag{0.64}$$

де $G = L \delta_{li} V_i \rho_{II}$.

Швидкість теплоносія в периферійних каналах розраховується за формулою:

$$V_T = \frac{G_T}{\rho_T S_T} = \frac{4G_T}{\rho_T n_T \eta d_T^2} \tag{0.65}$$

де S_T – сумарна площа поперечного перерізу периферійних каналів; d_T – діаметр периферійних каналів; n_T – їх кількість; ρ_T – густина теплоносія.

У результаті теплового і параметричного розрахунку, на каландрі установлені відповідно двигуни потужністю 12,6 кВт; 26,2 кВт; 18,2 кВт і 9,0 кВт.

Навіть з урахуванням пускових навантажень і невеликих відхилень параметрів технологічного процесу встановлені двигуни з запасом компенсують витрачену потужність валками на формування суміші і втрати на тертя.

5.2.2 Розрахунок валка на міцність

Валки є робочим органом каландра, від працездатності і надійності якого багато в чому залежить якість одержуваної продукції.

Метою розрахунку валка на міцність і жорсткість є розрахунок напружень у всіх небезпечних перерізах і величини прогину бочки для визначення різнотовщинності полімерного листа по ширині.

Мета розрахунку – визначення напружень у всіх небезпечних перерізах і знаходження величини прогину бочки, перевірка умови міцності і жорсткості.

Вихідні дані:

Кількість сходин валка	N=4
Геометричні розміри сходин:	
1-й переріз: внутрішній діаметр	d=0,17 м
зовнішній діаметр	d ₁ =0,34 м
глибина шпонкового паза	t=0,025 м
ширина шпонкового паза	b=0,08 м
2-й переріз: внутрішній діаметр	d=0,17 м
зовнішній діаметр	d ₂ =0,45 м
3-й переріз: внутрішній діаметр	d ₃ =0,34 м
зовнішній діаметр	D=0,71 м

4-й переріз: внутрішній діаметр	$d=0,1$ м
Зовнішній діаметр	$d_1=0,34$ м
Відстань між опорами валка	$L=2,42$ м
Відстань між обмежувальними стрілами	$L_2=1,8$ м
Величина розподіленого навантаження	$Q=160000$ Н/м
Потужність приводного двигуна	$N_{\text{дв}}=35$ кВт
Лінійна швидкість обертання валка	$V=0,46$ м/с
Температура на внутрішній поверхні валка	$T=71,4$ °C
Температура на робочій поверхні валка	$T=90$ °C
Матеріал валка	чавун валковий
Модуль пружності матеріалу валка	$E=1,5 \cdot 10^{11}$ Н/м ²
Коефіцієнт Пуассона матеріалу валка	$\mu=0,25$
Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу валка	$\alpha=0,000012$ 1/K

Розрахунок виконуємо для двох варіантів навантаження переднього (найбільш навантаженого) валка:

1) до валка прикладено максимальні розпірні зусилля й мінімальний крутний момент;

2) до валка прикладено мінімальні розпірні зусилля й максимальний крутний момент.

Для визначення напружень від вигину і крутіння, а також величини прогину валка, що необхідна для проектування механізму компенсації прогину валка, розраховуються моменти інерції і моменти опору різних перетинів валка. Для валків з периферійними каналами характерні чотири види поперечних перерізів.

Види поперечних перерізів і розрахункова схема валка наведено на Рис. 5.4.

Розрахункові формули для визначення моментів інерції і моментів опору приведених перерізів валків такі:

Переріз 1:

$$I_x = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \frac{3,14(0,71^4 - 0,17^4)}{64} = 0,0124 \text{ м}^4; \quad (0.66)$$

$$W_x = \frac{\pi(D^3 - d^3)}{32} = \frac{3,14(0,71^3 - 0,17^3)}{32} = 0,024 \text{ м}^3. \quad (0.67)$$

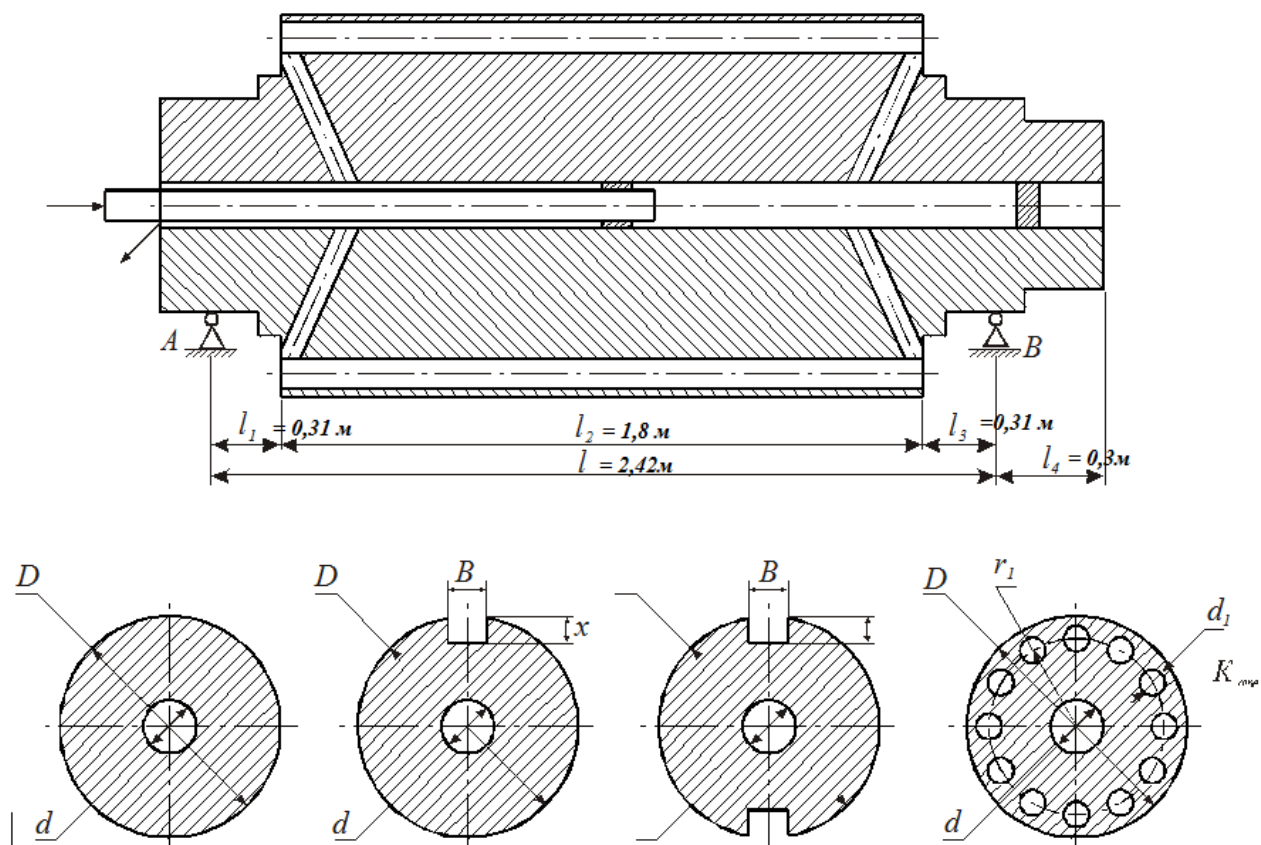


Рис. 5.4 – Види поперечних перерізів валка

Переріз 2:

$$I_x = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} - \frac{bt(D-t)^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,71^4 - 0,17^4)}{64} - \frac{0,08 \cdot 0,025 \cdot (0,71 - 0,15)^2}{4} = 0,0122 \text{ м}^4; \quad (0.68)$$

$$W_x = \frac{\pi(D^3 - d^3)}{32} - \frac{bt(D-t)^2}{2D} =$$

$$= \frac{3,14 \cdot (0,71^3 - 0,17^3)}{32} - \frac{0,08 \cdot 0,025 \cdot (0,71 - 0,15)^2}{2 \cdot 0,71} = 0,0342 \text{ м}^3. \quad (0.69)$$

Переріз 3:

$$I_X = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} - \frac{bt(D-t)^2}{2} = \frac{3,14(0,71^4 - 0,34^4)}{64} - \frac{0,08 \cdot 0,025 \cdot (0,71 - 0,025)^2}{2} = 0,0116 \text{ м}^4 \quad (0.70)$$

$$W_X = \frac{\pi(D^3 - d^3)}{32} - \frac{bt(D-t)^2}{2} = \frac{3,14(0,71^3 - 0,34^3)}{32} - \frac{0,08 \cdot 0,025 \cdot (0,71 - 0,025)^2}{2} = 0,0307 \text{ м}^3 \quad (0.71)$$

Переріз 4:

$$I_x = \frac{\pi(D-d)}{64} - \sum_{n=1}^k \left(\frac{\pi d_1^4}{64} + (r_1 |\sin((n-1)\alpha)|)^2 \frac{\pi d_1^4}{64} \right) =$$

$$= \frac{3,14 \cdot (0,71 - 0,15)}{64} - \sum_{n=1}^k \left(\frac{3,14 \cdot 0,34^4}{64} + (0,25 |\sin((4-1)90)|)^2 \frac{3,14 \cdot 0,34^4}{64} \right) = 0,026 \text{ м}^4 \quad (0.72)$$

;

$$W_x = \frac{2I_K}{D} = \frac{2 \cdot 0,025}{0,71} = 0,07 \text{ м}^3, \quad (0.73)$$

де $\alpha = 360^\circ / K$; K – кількість периферійних каналів.

Для визначення згинаючих і моментів у різних перерізах валка розглянемо схему його навантаження та епюри поперечних сил моментів (Рис 5.5).

Реакції в опорах A і B рівні між собою і визначаються за формулами:

$$R_a = \frac{ql_2(2l_3 + l_2)}{2l} = \frac{160000 \cdot 1,8(2 \cdot 0,31 + 1,8)}{2 \cdot 2,42} = 144000 \text{ Н};$$

$$R_b = \frac{ql_2(2l_1 + l_2)}{2l} = \frac{160000 \cdot 1,8(2 \cdot 0,31 + 1,8)}{2 \cdot 2,42} = 144000 \text{ Н}.$$
(0.74)

Згинаючий момент

$$M_{u1} = \frac{ql_2}{2} l_1 = \frac{160000 \cdot 1,8 \cdot 0,31}{2} = 44640 \text{ Нм};$$
(0.75)

$$M_{u2} = \frac{ql_2(2l - l_2)}{8} = \frac{160000 \cdot 1,8(2 \cdot 2,42 - 1,8)}{8} = 109440 \text{ Нм};$$
(0.76)

$$M_{u3} = \frac{ql_2}{2} l_3 = \frac{160000 \cdot 1,8 \cdot 0,31}{2} = 44640 \text{ Нм};$$
(0.77)

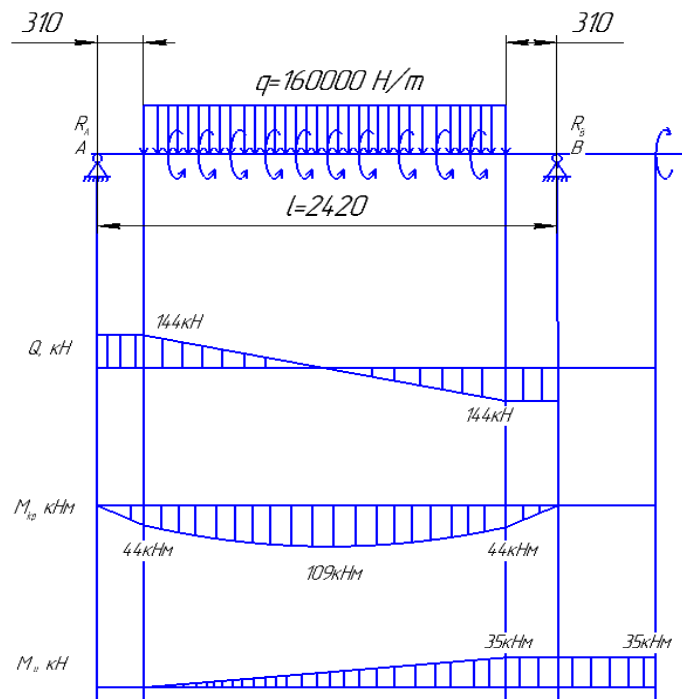


Рис. 5.5 – Схема навантаження, епюри поперечних сил, згинаючих і крутних моментів

Крутний момент:

$$M_{KP} = \frac{(z - l_1)M_d}{l - l_1} = \frac{(2,2 - 0,31)M_d}{2,52 - 0,31} \approx M_d; \quad l_1 \leq z \leq l - l_3;$$
(0.78)

$$M_{KP} = M_D; \quad l - l_3 \leq z \leq l - l_3, \quad (0.79)$$

де M_D – крутний момент, що передається від двигуна на валок.

Знаючи згинаючий момент у будь-якому перерізі валка, можна визначити напруження вигину в цих перерізах за формулою:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{M_i}{W_x} = \frac{48960}{0,034} = 144000 \text{Па}, \\ \sigma_2 &= \frac{M_i}{W_x} = \frac{109440}{0,0307} = 356482 \text{Па}, \\ \sigma_3 &= \frac{M_i}{W_x} = \frac{48960}{0,07} = 69942 \text{Па}. \end{aligned} \quad (0.80)$$

Внаслідок різниці температур між робочою поверхнею валка і поверхнею, що контактує з теплоносієм (внутрішня поверхня валка), у валку виникають температурні напруги, що істотно впливають на його міцність. Температурні напруження можна визначити за формулами:

– на внутрішній поверхні валка

$$\begin{aligned} \sigma_\theta = \sigma_z &= E\alpha T^* \frac{3r_1 - \frac{2(r_2^3 - r_1^3)}{r_2^2 - r_1^2}}{3(1-\mu)(r_2 - r_1)} = \\ &= 1,5 \cdot 10^{11} \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 344,4 \frac{3 \cdot 0,27 - \frac{2(0,36^3 - 0,27^3)}{0,36^2 - 0,27^2}}{3(1-0,25)(0,36 - 0,27)} = 30,96 \text{МПа} \end{aligned} \quad (0.81)$$

– на зовнішній поверхні валка:

$$\begin{aligned} \sigma_\theta = \sigma_z &= E\alpha T^* \frac{3r_2 - \frac{2(r_2^3 - r_1^3)}{r_2^2 - r_1^2}}{3(1-\mu)(r_2 - r_1)} = \\ &= 1,5 \cdot 10^{11} \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 363 \cdot \frac{3 \cdot 0,36 - \frac{2(0,36^3 - 0,27^3)}{0,36^2 - 0,27^2}}{3(1-0,25)(0,36 - 0,27)} = 32,67 \text{МПа} \end{aligned} \quad (0.82)$$

де σ_{θ} – тангенціальні напруження; σ_z – осьові напруження; E – модуль пружності матеріалу валка; μ – коефіцієнт Пуассона матеріалу валка; r_1 – радіус внутрішньої поверхні валка; r_2 – радіус зовнішньої поверхні валка.

Для валків з периферійними отворами за радіус внутрішньої поверхні необхідно приймати радіус центрів периферійних отворів для підведення теплоносія. Це обумовлено тим, що градієнт температур між зовнішньою (робочою) поверхнею валка і поверхнею каналів для підведення теплоносія значно перевищує градієнт температур між цими каналами і внутрішньою поверхнею валка.

Момент крутіння у валку визначається за формулою:

$$M_{KP} = \frac{9550 \cdot N}{n} = \frac{9550 \cdot 35000}{950} = 35 \cdot 10^4 \text{ Нм}, \quad (0.83)$$

де N – потужність, яка підводиться до валка від двигуна; n – частота обертання валка.

Напруження крутіння у валку визначаються за формулою:

$$\tau = \frac{M_{KP}}{2W_x} = \frac{35 \cdot 10^4}{2 \cdot 0,07} = 25 \cdot 10^5. \quad (0.84)$$

Знаючи максимальні температурні напруження на внутрішній чи зовнішній поверхні валка і згинальні напруження від дії розпирних зусиль, можна визначити сумарні напруження за формулою:

$$\sigma_c = K\sigma_u + \sigma_{\theta} \leq [\sigma], \quad (0.85)$$

де K – коефіцієнт запасу, що вибирається у границях 1,0...1,5.

Еквівалентні напруження у валку визначаються за другою теорією міцності:

$$\sigma_{EKB} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{30.96 \cdot 10^{12} + 56.25 \cdot 10^{12}} = 31,85 \text{ МПа} . \quad (0.86)$$

$$\sigma_{EKB} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{32.67^2 \cdot 10^{12} + 56.25 \cdot 10^{12}} = 33,51 \text{ МПа}$$

Умова міцності валка

$$\sigma_{EKB} \leq [\sigma], \quad (0.87)$$

де $[\sigma]$ – допустимі напруження для матеріалу валка.

Якщо отримані еквівалентні напруження не перевищують допустимих, то валок даної конструкції при розглянутих силових навантаженнях працездатний.

Висновок: максимальні еквівалентні напруження у валку становлять 31,85 МПа (для першого варіанту) і 33,51 МПа (для другого варіанту), обидва значення менше допустимого (37,5 МПа), отже міцність валка забезпечена.

5.2.3 Тепловий розрахунок верхнього виносного і верхнього валків

Товщина одного слою гуми, мм	1,5
Температура полотна на вході, С°	75
Встановлена потужність приводу, кВт	250
Параметри перегрітої води :	
тиск, МПа	0,3
температура, С°	133
Кут захоплення матеріала на верхньому виносному валку, α°_1	90
Кут захоплення матеріала на нижньому валку, α°_3	200
Довжина участка гуми до дублюючого валка (від верхнього), l_1 , мм	700
Довжина участка гуми до дублюючого валка (від нижнього), l_1 , мм	1500

Енергетичний баланс валка каландра можна записати у вигляді рівняння

$$G_{сер} t_n + Q'_{дис} + Q_{нагр} = G_{сер} t_k + Q_{вит},$$

$G_{сер}$ – кількість матеріалу, який поступає на валок за одиницю часу, кг/с;

C_p – питома теплоємність гуми при температурі переробки, 1420 Дж/(кг·К);

t_n – початкова температура гуми на вході на валок, °С;

t_k – кінцева температура гуми після виходу з валка, °С;

$Q'_{дис}$ – половина величини теплової енергії, отриманої за рахунок перетворення механічної енергії в теплову, Вт;

$Q_{нагр}$ – кількість теплової енергії, яка підводиться до валка, Вт;

$Q_{вит}$ – теплові витрати від валка в навколишнє середовище, Вт.

З рівняння енергетичного балансу валка визначаємо

$$Q_{нагр} = C_p (t_n - t_k) + Q_{вит} - Q'_{дис}.$$

Масова продуктивність в кожному з зазорів каландра буде однаковою

$$G_1 = G_2 = G_3 = G_4$$

Для 1-го валка

$$G = V \cdot L \cdot \delta_1 \cdot \rho,$$

V – швидкість валка, на якому знаходиться маса, м/с;

L – довжина бочки валка каландра, м;

δ_1 – величина міжвалкового зазору, м;

ρ – густина гуми при температурі переробки, 1350 кг/м³.

Тут $\delta_1 = 1,5 \text{ мм}$.

$$G = 0,4 \cdot 1,73 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1350 = 1,403 \text{ кг/с}.$$

Кількість енергії, яка виноситься масою при нагріванні її від початкової до кінцевої температури

$$Q_n = G \cdot C_p (t_n - t_k),$$

де $Q_{\text{пов}}$ – кількість енергії, яка виноситься масою з валка, Вт;

G – масова продуктивність третього валка, кг/с;

C_p – теплоємність гуми при температурі переробки, Дж/(кг·К);

t_n – початкова температура гуми після проходження валка, °С;

t_k – кінцева температура маси перед входом на валок, °С;

$$Q_{\text{поо}} = 1,403 \cdot 1420 \cdot (100 - 75) = 49806 \text{ Вт.}$$

Теплові витрати з валка каландра визначаються відношенням

$$Q_{\text{вит}} = Q'_{\text{витр}} + Q''_{\text{витр}},$$

де $Q'_{\text{витр}}$ – теплові витрати з поверхні третього валка, вільного від маси, Вт;

$Q''_{\text{витр}}$ – теплові витрати з поверхні третього валка, вкритого масою, Вт.

Теплові витрати з поверхні третього валка, вільного від маси, визначаються за формулою

$$Q'_{\text{витр}} = \alpha \cdot F \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{нс}}),$$

де α_3 – сумарний коефіцієнт тепловіддачі від поверхні третього валка в навколишнє середовище, Вт/(м²·град);

F – площа поверхні валка, °С;

$t_{\text{в}}$ – температура поверхні валка, °С;

$t_{\text{нс}}$ – температура навколишнього середовища, °С.

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі розраховується за формулою

$$\alpha = \alpha_{\kappa} + \alpha_{\text{в}},$$

де α_k – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стрічки до повітря за рахунок природної конвекції, Вт/(м²·град);

α_b – коефіцієнт тепловіддачі за рахунок випромінювання з поверхні стрічки, Вт/(м²·град);

Коефіцієнт α_k визначається з формули

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot D}{\lambda},$$

$$Nu = C(\text{Pr} \cdot Gr)^n \cdot k,$$

де Pr – критерій Прандтля, для повітря дорівнює Pr=0,71;

Gr – критерій Грасгофа

$$Gr = \frac{\beta \cdot \Delta t \cdot x^3 \cdot g}{\nu^2},$$

де β – коефіцієнт об'ємного розширення для газів 1/К;

$$\beta = \frac{1}{T_{nc} + 273},$$

$T_{nc}=20^\circ\text{C}$ – температура навколишнього середовища

$$\Delta t = T - T_{nc},$$

x - визначний розмір, $x = D_b$;

$\nu = 14,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ – кінематична в'язкість повітря при $T_{сер} = \frac{T + T_{nc}}{2}$.

Коефіцієнти c, k та n в рівнянні Nu визначаються по добутку PrGr.

Якщо $\text{PrGr} > 10^9$, то $c = 0,1$; $n = 1/3$; $k = 1$.

Коефіцієнт α_k отримуємо далі

$$\alpha_k = \frac{\lambda_T}{d} \cdot Nu = \frac{\lambda_T}{d} \cdot C(\text{Pr} \cdot Gr)^n k,$$

де $\lambda_T = 2,58 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К) – коефіцієнт теплопроводності повітря при середній температурі.

$$(\text{Pr} \cdot \text{Gr})' = \frac{9,81 \cdot 0,71^3 \cdot (150 - 20) \cdot 0,71}{(14,9 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 291} = 5,01 \cdot 10^9 > 10^9.$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією

$$\alpha_k = \frac{2,58 \cdot 10^{-2}}{0,71} \cdot 0,1 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{5,01} = 8,12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні гумової стрічки до повітря за рахунок випромінювання

$$\alpha_{\epsilon} = E \cdot C_0 \cdot 10^{-3} \frac{T^4 - T_{nc}^4}{T - T_{nc}},$$

де $E = 0,65$ - степінь чорності зовнішньої поверхні гумової стрічки;
 $C_0 = 5,67$ Вт/(м²·К⁴) – константа випромінювання абсолютно чорного тіла.

$$\alpha_{\epsilon 1} = \frac{0,65 \cdot 5,67}{130} \left[\left(\frac{438}{100} \right)^4 - \left(\frac{291}{100} \right)^4 \right] = 6,16 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)};$$

$$\alpha = 8,12 + 6,16 = 14,28 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)};$$

Втрати з валка, якщо він був повністю вільним від маси, складають

$$Q'_{\text{випр}} = \alpha \cdot F \cdot (t_g - t_{nc}) = 14,28 \cdot 4,51 \cdot 130 = 837236 \text{ Вт},$$

де $F = 4,51$ м² – площа поверхні валка.

Величина дуги кола валка, де він вільний від маси $\gamma_b = 174^\circ$.

Втрати від третього валка там, де він вільний від маси

$$Q_{випр}^{III} = \frac{Q_{випр} \cdot \gamma}{360},$$

$$Q_{випр}^{III} = \frac{837236 \cdot 174}{360} = 4046,64 \text{ Вт.}$$

Аналогічно розраховуємо втрати для поверхні валка, вкритого масою

$$(Pr \cdot Gr)'' = \frac{9,81 \cdot 0,71^3 \cdot (150 - 20) \cdot 0,71}{(14,9 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 291} = 5,01 \cdot 10^9 > 10^9,$$

$$\alpha_k'' = \frac{2,58 \cdot 10^{-2}}{0,71} \cdot 0,1 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{5,01} = 8,12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

Степінь чорноти валка, вкритого гумовою стрічкою $E = 0,94$

$$\alpha_\epsilon'' = \frac{0,94 \cdot 5,67}{130} \left[\left(\frac{428}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 10,73 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

$$\alpha_\epsilon'' = 8,12 + 10,73 = 18,85 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

Втрати від третього валка, якщо він весь був вкритий масою, складуть

$$Q_{випр}'' = \alpha_\epsilon'' \cdot F \cdot (t_\epsilon - t_{нс}) = 18,85 \cdot 4,51 \cdot 130 = 11051,75 \text{ Вт}$$

Втрати на третьому валку там, де він вкритий масою

$$Q_{випр}^{II} = \frac{Q_{випр}'' \cdot \gamma}{360},$$

$$Q_{витр}^{II} = \frac{11051,75 \cdot (360 - 174)}{360} = 5710,07 \text{ Вт.}$$

Сумарні витрати з третього валка складуть

$$Q_{витр} = 5710,07 + 4046,64 = 9756,71 \approx 9757 \text{ Вт.}$$

Дисипаційне виділення енергії в зазорах при проходженні матеріалу для кожного з зазорів

$$Q'_{дис} = 27000 \text{ Вт}$$

$$Q''_{дис} = 49700 \text{ Вт}$$

$$Q'''_{дис} = 30300 \text{ Вт}$$

Тоді, враховуючи, що на кожний з валків приходить однакова кількість дисипаційної енергії, що виділилася в зазорі, маємо

$$Q'_{дис1b} = Q'_{дис}$$

Визначаємо потужність системи нагрівання валка

$$Q_{нагр} = Q_{нов} + Q_{витр} - Q_{дис1b},$$

$$Q_{нагр} = 49806 + 9757 - 27000 = 32563 \text{ Вт.}$$

Знаходимо витрату гріючого теплоносія (перегрітої води), вважаючи, що різниця температур на виході та вході теплоносія у валок складає $\Delta t = 1^\circ\text{C}$.

$$G_g = \frac{Q_{нагр}}{C_p \cdot \Delta t} \text{ м}^3/\text{год}$$

де G_g – витрата теплоносія;

$C_p = 4370 \text{ Дж/(кг·град)}$ – теплоємність води,

$$G_{\epsilon} = \frac{32563}{4370 \cdot 1} = 7,45 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Об'ємні витрати перегрітої води

$$V = \frac{G_{\epsilon}}{\rho_{\epsilon}} = \frac{7,45}{900} = 0,0083 \text{ м}^3 / \text{с} = 29,8 \text{ м}^3 / \text{год},$$

де $\rho_{\epsilon} = 900 \text{ кг/м}^3$ – густина перегрітої води.

Витрати води перегрітої для обігріву I-го вала каландра, як найбільш енергоємного та навантаженого, складають $29,8 \text{ м}^3/\text{год}$.

5.2.4 Гідравлічний розрахунок валка

Мета розрахунку – визначення гідравлічного опору всіх ділянок валка, з метою вибору насоса для перекачування теплоносія та приводного електродвигуна насоса.

Вихідні дані:

Теплоносії у валках – вода.

Температура води, °C	111
----------------------	-----

Об'ємна витрата води, м ³ /с	0,05
---	------

Параметри центрального каналу:

– діаметр порожнини, м	0.15
------------------------	------

– зовнішній діаметр центральної труби, м	0.15
--	------

– внутрішній діаметр центральної труби, м	0.15
---	------

Параметри периферійних каналів:

– діаметр, м 0.035

– кількість 32

Параметри похилих каналів:

– діаметр, м 0.035

– кількість 32

Сумарні втрати тиску Δp_{ϵ} на подолання опору тертя і місцевих опорів на ділянках валка:

$$\Delta p_{\epsilon} = \sum \Delta p_i ,$$

де i – кількість ділянок валка

Опір окремої ділянки визначається за залежністю:

$$\Delta p_i = \left(\lambda_i \sum_i \frac{l_i}{d_{ei}} + \sum_j \xi_j \right) \frac{\omega_i^2 \rho_{\epsilon}}{2} ,$$

де λ – коефіцієнт тертя на i -й ділянці; l – довжина i -ї ділянки; d_{ei} – еквівалентний діаметр i -ї ділянки; ξ – коефіцієнт місцевого опору на i -й ділянці; ω – швидкість теплоносія на i -й ділянці; ρ_{ϵ} – густина теплоносія (води).

1) Втрати тиску в міжтрубному просторі центральної труби Δp_1 :

$$\Delta p_1 = \left(\lambda \frac{l}{d_e} + \xi \right) \frac{\omega^2 \rho}{2} = \left(0,056 \cdot \frac{3,72}{0,15} + 1 \right) \frac{0,205^2 \cdot 919}{2} = 46,12 \text{ Па},$$

де $\xi=1$ при повороті у міжтрубному просторі на 90° .

Коефіцієнт тертя λ залежить від величини критерію Рейнольдса: при ламінарному режимі ($Re < 2300$):

$$Re = \frac{\omega d_e \rho}{\mu} = \frac{0,205 \cdot 0,115 \cdot 919}{188 \cdot 10^{-4}} = 1152.$$

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1152} = 0,056.$$

Швидкість в міжтрубному просторі центральної труби:

$$\omega = \frac{4Q}{\pi(d_4^2 - d_1^2)} = \frac{4 \cdot 0,274 \cdot 10^{-2}}{3,14(0,15^2 - 0,075^2)} = 0,205 \text{ м/с.}$$

2) Втрати тиску в похилих каналах Δp_2 :

$$\Delta p_2 = \left(\lambda \frac{l}{d_e} + \xi \right) \frac{\omega^2 \rho}{2} = \left(0,3 \cdot \frac{0,5}{0,025} + 1,2 \right) \frac{0,175^2 \cdot 919}{2} = 101,3 \text{ Па,}$$

де ξ – визначаємо методом інтерполяції: $\xi = 1,5$ при 180° , $\xi = 1$ при 90° , отже $\xi = 1,2$ при 115° .

Коефіцієнт тертя λ залежить від величини критерію Рейнольдса: при ламінарному режимі ($Re < 2300$):

$$Re = \frac{\omega d_e \rho}{\mu} = \frac{0,175 \cdot 0,025 \cdot 919}{188 \cdot 10^{-4}} = 213.$$

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{213} = 0,3.$$

Швидкість в похилих каналах:

$$\omega = \frac{4Q}{\pi d^2 n} = \frac{4 \cdot 0,274 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 0,025^2 \cdot 32} = 0,175 \text{ м/с,}$$

де n – кількість похилих каналів.

3) Втрати тиску в периферійних каналах Δp_3 :

$$\Delta p_3 = \left(\lambda \frac{l}{d_e} + \xi \right) \frac{\omega^2 \rho}{2} = \left(0,42 \cdot \frac{2,4}{0,034} + 1,05 \right) \frac{0,089^2 \cdot 919}{2} = 112 \text{ Па},$$

де ξ – визначається методом інтерполяції: $\xi=1,5$ при 180° , $\xi=1$ при 90° , отже $\xi=1,05$ при 115° за умови плавного повороту потоку теплоносія.

Коефіцієнт тертя λ залежить від величини критерію Рейнольдса: при ламінарному режимі ($Re < 2300$):

$$Re = \frac{\omega d_e \rho}{\mu} = \frac{0,089 \cdot 0,035 \cdot 919}{188 \cdot 10^{-4}} = 152,27.$$

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{152,27} = 0,42.$$

Швидкість теплоносія в периферійних каналах:

$$\omega = \frac{4Q}{\pi d^2 n} = \frac{4 \cdot 40,274 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 0,035^2 \cdot 32} = 0,089 \text{ м/с},$$

4) Втрати тиску в центральній трубці Δp_4 :

$$\Delta p_4 = \left(\lambda \frac{l}{d_e} + \xi \right) \frac{\omega^2 \rho}{2} = \left(0,056 \cdot \frac{3,72}{0,15} + 1 \right) \frac{0,155^2 \cdot 919}{2} = 24,46 \text{ Па},$$

де $\xi=1$ при повороті у міжтрубному просторі на 90° .

Коефіцієнт тертя λ залежить від величини критерію Рейнольдса: при ламінарному режимі ($Re < 2300$):

$$Re = \frac{\omega d_e \rho}{\mu} = \frac{0,155 \cdot 0,115 \cdot 919}{188 \cdot 10^{-4}} = 1136.$$

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{1136} = 0,056.$$

Швидкість в центральній трубці:

$$\omega = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,274 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 0,15^2} = 0,155 \text{ м/с.}$$

Загальний гідравлічний опір валка:

$$\Delta p_{\text{г}} = \sum \Delta p_i = 46,22 + 2 \cdot 101,3 + 112 + 24,46 = 387,18 \text{ Па.}$$

5.3 Розрахунок упорного гвинта механізму регулювання зазору

5.3.1 Розрахунок упорного гвинта

Гвинт упорний знаходиться під дією осьової сили $Q = 750000 \text{ Н}$.

Визначимо момент сил тертя в різьбі [2]

$$M_p = Q \text{tg}(\lambda + \rho') \frac{\alpha_2}{2},$$

де λ – кут підйому різьби;

ρ' – приведений кут тертя;

$$\text{tg} \lambda = \frac{S \cdot n}{\pi \cdot d_2};$$

де $S = 5 \text{ мм}$ – крок різьби; $n = 1$ – число заходів; $d_2 = 97,5 \text{ мм}$ – середній діаметр різьби;

$$\text{tg} \rho' = \frac{f}{\cos \frac{\alpha}{2}};$$

де $f = 0,08$ – коефіцієнт тертя; $\alpha = 30^\circ$ - кут профілю різьби.

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{5 \cdot 1}{3,14 \cdot 97,5} = 0,016324$$

$$\lambda = 0^{\circ}56'07''$$

$$\operatorname{tg} \rho' = \frac{0,08}{\cos 15^{\circ}} = 0,08282$$

$$\rho' = 4^{\circ}44'04''$$

$$M_p = 750000 \cdot 0,0975 \cdot \frac{1}{2} \operatorname{tg} (0^{\circ}57'07'' + 4^{\circ}44'04'') = 3630 \text{ Нм}$$

Умова міцності гвинта має вигляд

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]_p$$

де σ – напруження розтягу; τ – напруження кручення.

$$\sigma = \frac{Q}{F},$$

$Q = 750000 \text{ Н}$ – стискаюче навантаження; $F = \frac{\pi d_1^2}{4}$ – площа поперечного перерізу;

$$d_1 = d - 2h_1$$

$$d_1 = 100 - 2 \cdot 2,75 = 94,5 \text{ мм} = 0,094 \text{ м}$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,094^2}{4} = 70,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\sigma = \frac{750000}{70,14 \cdot 10^{-4}} = 107 \text{ МПа}$$

Напруження кручення

$$\tau_{kp} = \frac{M_{kp}}{W_p},$$

де $M_k = M_p = 3630$ Нм – крутний момент; $W_p = \frac{\pi d_1^3}{16}$ – полярний момент опору;

$$W_p = \frac{3,14 \cdot 0,0945^3}{16} = 165,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$$\tau_{кр} = \frac{3630}{165,7 \cdot 10^{-6}} = 22 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{екв} = \sqrt{107^2 + 3 \cdot 22^2} = 114 \text{ МПа}.$$

Найменший діаметр гвинта упорного – 80 мм.

Визначимо $\sigma_{екв}$ в цьому місці

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,08^2}{4} = 5026,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

$$W_p = \frac{3,14 \cdot 0,08^3}{16} = 100,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Напруження стиску

$$\sigma_{ст} = \frac{750000}{5026,5 \cdot 10^{-6}} = 149 \text{ МПа}$$

Напруження кручення

$$\tau_{кр} = \frac{3630}{100,5 \cdot 10^{-6}} = 36 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{екв} = \sqrt{149^2 + 3 \cdot 36^2} = 169 \text{ МПа}$$

Гвинт виготовлений зі сталі 40Х, термообробка – поліпшення,
[σ]_p=200МПа

$$\sigma < [\sigma]_p.$$

Проведемо перевірку гвинта упорного на стійкість

$$Q_{кр} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu l)^2},$$

де $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності; I_{\min} – мінімальний момент інерції гвинта; $\mu = 2$ – коефіцієнт приведення довжини; $l = 0,255$ м – довжина гвинта;

$$I = \frac{3,14 \cdot 0,08^4}{64} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4,$$

$$Q_{кр} = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6}{(2 \cdot 0,255)^2} = 15920922 \text{ Н}$$

$$n = \frac{Q_{кр}}{Q},$$

$$n = \frac{15920922}{750000} = 21,$$

[n] = 3÷5 – мінімальний коефіцієнт запасу на стійкість

$$n > [n].$$

Визначимо напруження зрізу в бурті гайки

$$\tau_{зр} = \frac{Q}{\pi D h_0},$$

де $D = 0,205$ м – зовнішній діаметр гайки в місці бурта, $h_0 = 0,04$ м – висота опорного бурта;

$$\tau_{зр} = \frac{750000}{3,14 \cdot 0,205 \cdot 0,04} = 29 \text{ МПа}.$$

Гайка виготовлена з матеріалу – сталь 45.

$$[\tau]_{зр} = 75 \text{ МПа}$$

$$\tau_{зр} < [\tau]_{зр}.$$

5.3.2 Розрахунок «стакана»

Навантаження P – осьове, величиною – 750000 Н.

Основні параметри:

$$H = 64 \text{ мм} = 0,064 \text{ м}; h = 24 \text{ мм} = 0,024; D_1 = 350 \text{ мм} = 0,35 \text{ м};$$

$$d_1 = 310 \text{ мм} = 0,31 \text{ м}; D_2 = 330 \text{ мм} = 0,33; d_2 = 282 \text{ мм} = 0,282 \text{ м};$$

$$d_3 = 230 \text{ мм} = 0,23 \text{ м}.$$

Матеріали: сухар – сталь 40Х

$$[\sigma]_{зм} = 230 \text{ МПа}; [\tau]_{зр} = 95 \text{ МПа},$$

стакан – сталь 45

$$[\sigma]_{зм} = 210 \text{ МПа}; [\tau]_{зр} = 85 \text{ МПа}.$$

Розрахуємо стакан на зріз по формулі

$$\tau_{зр} = \frac{P}{F_{зр}},$$

де $F_{зр}$ - площа стакана, яка опирається зрізу,

$$F_{зр} = (H - h)\pi d_2;$$

А на зминання за формулою

$$\sigma_{зм} = \frac{P}{F_{зм}},$$

де $F_{зм}$ - площа контакту кільця підшипника і стакану

$$F_{зм} = \frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_3^2),$$

Зріз:

$$F_{зр} = (0,064 - 0,024) \cdot 3,14 \cdot 0,282 = 0,0354 \text{ м}^2;$$

$$\tau_{зр} = \frac{750000}{0,0354} = 21,2 \text{ МПа};$$

$$[\tau]_{зр} = 85 \text{ МПа},$$

$$\tau_{зр} < [\tau]_{зр}.$$

Зминання:

$$F_{зм} = \frac{3,14}{4} (0,282^2 - 0,23^2) = 0,021 \text{ м}^2;$$

$$\sigma_{зм} = \frac{750000}{0,021} = 36 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{зм} = 210 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{зм} < [\sigma]_{зм}.$$

Стакан задовольняє вимоги міцності.

5.3.3 Розрахунок «сухаря»

Розрахуємо сухар на зріз за формулою

$$\tau_{зр} = \frac{P}{F_{зр}},$$

де $F_{зр}$ – площа перерізу сухаря

$$F_{зр} = h \cdot \pi \cdot D^2,$$

$$F_{зр} = 0,024 \cdot 3,14 \cdot 0,33 = 0,0249;$$

Напруження зрізу

$$\tau_{зр} = \frac{750000}{0,0249} = 30 \text{ МПа} < [\tau]_{зр} = 95 \text{ МПа}.$$

Напруження зминання, яке діє на сухар

$$\sigma_{зм} = \frac{P}{F_{зм}},$$

де $F_{зм}$ – площа зминання

$$F_{зм} = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2),$$

$$F_{зм} = \frac{3,14}{4} (0,33^2 - 0,31^2) = 0,01 \text{ м}^2.$$

Напруження зминання

$$\sigma_{зм} = \frac{750000}{0,01} = 75 \text{ МПа} < [\sigma]_{зм} = 230 \text{ МПа}.$$

Умови міцності виконуються.

6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

6.1 Характеристика проектного об'єкта і місця його впровадження

Згідно закону про охорону праці України на нові машини, механізми, обладнання необхідно розробити нешкідливі і безпечні умови їх експлуатації обслуговуючим персоналом, необхідно оформити сертифікат на безпечну експлуатацію, згідно з встановленими зразками.

Технічне завдання магістерської дисертації передбачає розрахунок і проектування каландра для переробки гумових сумішей, для підприємств хімічної промисловості. Створення здорових і безпечних умов праці на підприємстві обумовлюють необхідність раннього виявлення шкідливих і небезпечних факторів, для того щоб на стадії проектування намітити заходи, які слід проводити для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу.

Каландр для переробки гумових сумішей використовується для виготовлення транспортерної стрічки з різних композицій гумових матеріалів з інгредієнтами і рівномірного розподілення останніх в його масі, не порушуючи пропорцій, приписаних технологією.

Цех має свою замкнуту систему каналізації, при якій стік очищається в локальних очисних пристроях (з утилізацією забруднюючих речовин) і у водойму не скидаються, а повертається в систему підприємства і цеху.

Установку параметрів технологічного процесу і контроль здійснюють два оператори. Пульти операторів знаходяться у виробничому приміщенні.

Площа приміщення:

$$S_n = 80 \cdot 35 = 2800 \text{ м}^2$$

6.2 Характеристика можливих небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При гранулюванні гумових сумішей та пластифікованих каучуків на організм обслуговуючого персоналу можливий вплив різних шкідливих і небезпечних виробничих факторів, відповідно до ГОСТ 12.0.003-78, таких як:

– підвищена запиленість і загазованість повітря в робочій зоні – залишкові мономері каучуку, оксид вуглецю й ін.продукти термодеструкції окремих речовин;

– небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі: 380/220 В., що може привести до місцевих і загальних поразок організму людини (поразка шкірного покриву й ін., електроудари);

– недостатня освітленість робочої зони збільшує стомлюваність, робітник погано орієнтується у виробничій обстановці, що може привести до утворення небезпечних ситуацій;

– промисловий внутрішньоцеховий транспорт може привести до шляхово-транспортних травм різного ступеня важкості;

– підвищений рівень шуму і вібрації на робочому місці утворюють значне навантаження на нервову і серцево-судинну системи людини, органи слуху, травлення й ін.;

– частини обладнання, які рухаються, (черв'як, редуктор і ін.) – може відбутися затягування верхнього одягу, рук і приводити до важких механічних травм;

– підвищена температура поверхонь устаткування (до +75°C , яка може привести до опіків підвищеному нагріванню повітря в приміщенні, конденсації водяної пари в повітрі і на стінках приміщення);

– підвищена температура повітря в робочій зоні (34-38°C) приводить до розладу нормальної терморегуляції організму і, як наслідок: теплове виснаження, судороги і ін.

При роботі установки відбувається переробка гуми та каучуків. При цьому виділяються шкідливі речовини, що по ступені впливу на організм людини відносяться до 2-4 класу небезпеки .

6.3 Промислове освітлення

Для нормальної роботи обслуговуючого персоналу відповідно до норм ДБН В 2.5.28-2006 передбачається сумісне освітлення, тобто коли природне

освітлення доповнюється штучним, для освітлення приміщення в години, коли природне освітлення відсутнє, або його недостатнє. Природне освітлення передбачається бічне, через світлові прорізи в зовнішніх стінах.

Штучне освітлення передбачене загальне, рівномірне, робоче й аварійне . Робоче освітлення передбачене для загального освітлення площі цеху. Аварійне освітлення передбачене для забезпечення мінімальної освітленості у виробничому приміщенні на випадок раптового відключення робочого освітлення й зв'язане з цим порушення нормального обслуговування устаткування й механізмів, що може викликати тривале порушення технологічного процесу й ін .

Освітленість робочої зони установки, створювана світильниками загального і місцевого освітлення повинна відповідати ДБН В 2.5.28-2006. При V розряді зорових робіт вибираємо світильник ДРЛ-250, потужністю 125 Вт, $F=9500$ лм. Встановлюємо в приміщенні 105 світильників, що дасть $E_{ef} = 200$ лк. Мінімальна нормативна освітленість для даного розряду роботи $E_{min} = 150$ лк. Оскільки $E_{ef} > E_{min}$, приміщення відповідає нормам ДБН В 2.5.28-2006.

6.4 Характеристики вентиляційної системи

Відповідно до ДБН Д.2.2-20-99 у приміщенні передбачена природна і механічна вентиляція. Природний рух повітря в приміщенні відбувається внаслідок різниці його щільності поза і усередині приміщення (тепловий тиск), а також під дією вітру. Вентиляція відбувається через вентиляційні прорізи, й фрамуги приміщення.

Вітровий тиск, який утвориться з підвітряної сторони приміщення і розрядження, яке утвориться з підвітряної сторони будинку розраховується по формулі:

$$H_1 = a \cdot \frac{V^2 \cdot \gamma}{2 \cdot q} \text{ Н/м}^2, \quad (6.1)$$

де a – аеродинамічний коефіцієнт, який залежить від конструкції будинку (він складає 0,7..0,65 на навітряній стороні будинку і 0,3..0,45 на завітряній стороні);

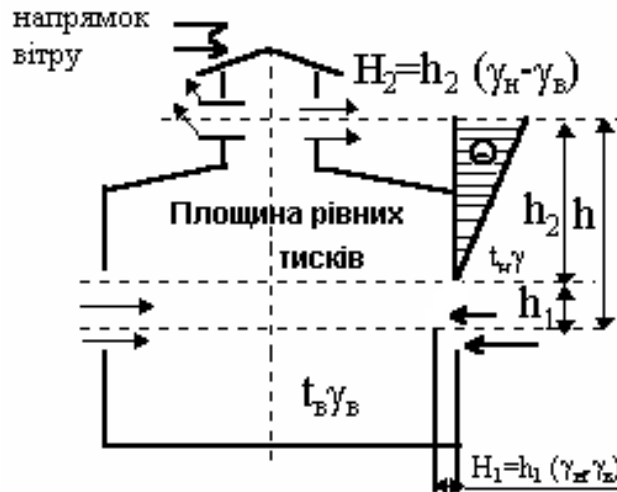


Рис. 6.1. Розподіл тиску в приміщенні

V – швидкість руху вітру, приймаємо $V=5$ м/с;

γ – питома вага повітря, $\gamma=1,39$ Н/м³;

q – прискорення вільного падіння, $q=9,81$ Н/с²

Тоді:

$$H_1 = 0,7 \cdot \frac{5^2 \cdot 1,39}{2 \cdot 9,81} = 1,24 \text{ Н/м}^2$$

$$H_2 = 0,45 \cdot \frac{5^2 \cdot 1,39}{2 \cdot 9,81} = 0,79 \text{ Н/м}^2$$

Параметри зовнішнього повітря $t_n=23^\circ\text{C}$, $d_n=10$ г/кг, $\rho_n=1,16$ кг/м³

Надлишок явної теплоти $Q_{36}=265$ кВт, висота цеху $H=10$ м.

Температура повітря в робочій зоні:

$$t_{p.z.} = t_n + \Delta t_p = 23 + 5 = 28^\circ \quad (6.2)$$

Δt_p – робоча різниця температур, $^\circ\text{C}$; $\Delta t_p=5^\circ\text{C}$;

Кількість подаваного повітря для забезпечення заданої температури в робочій зоні:

$$G = \frac{m \cdot Q_{36}}{C \cdot \Delta t_p}, \quad (6.3)$$

де m – коефіцієнт виділення теплоти в робочу зону, $m=0,4$;

C – температурний градієнт, $C=1,0$.

$$G = \frac{0,4 \cdot 255}{1,0 \cdot 5} = 21,2 \text{ кг/с}$$

Температура повітря яке виходить:

$$t_{\text{вих}} = t_n + \frac{Q_{\text{об}}}{C \cdot G}, \quad (6.4)$$

$$t_{\text{вих}} = 23 + \frac{265}{1 \cdot 21,2} = 35,32^\circ \text{C}$$

Приймаємо умову, що нейтральна площина поділяє приміщення на рівні частини, тобто $h_1=h_2=5$ м

Середня температура по висоті приміщення:

$$t_a = 0,5 \cdot (t_{\text{п.з.}} + t_{\text{вих}}), \quad (6.5)$$

$$t_a = 0,5 \cdot (28 + 35,32) = 31,7^\circ \text{C}$$

Щільність повітря при $d_a=10$ г/кг і $t=35,32^\circ \text{C}$ $\rho_a=1,13$ кг/м³

Швидкість повітря в нижніх приточних прорізах:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_a) \cdot q}{\rho_a}}, \quad (6.6)$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 5 \cdot (1,16 - 1,13) \cdot 9,81}{1,16}} = 1,59 \text{ м/с}$$

Швидкість повітря в аераційному ліхтарі:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot h_2 \cdot (\rho_n - \rho_a) \cdot q}{\rho_a}}, \quad (6.7)$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 5 \cdot (1,16 - 1,13) \cdot 9,81}{1,13}} = 1,61 \text{ м/с}$$

Площа прорізів знаходиться по формулі:

$$F = \frac{G}{\mu \cdot V \cdot \rho}, \quad (6.8)$$

де μ – коефіцієнт витрати, який залежить від конструкції затворок переплету в проїмі і кута відкриття затворки (для затворки переплету, відкритої на 30° в середньому можна прийняти $\mu=0,32$);

Звідси площа нижніх прорізів:

$$F_1 = \frac{21,2}{0,417 \cdot 1,59 \cdot 1,16} = 27,56 \text{ м}^2$$

Площа верхніх прорізів:

$$F_2 = \frac{21,2}{0,417 \cdot 1,61 \cdot 1,13} = 27,94 \text{ м}^2$$

Обсяг повітря, яке проходить через прорізи:

$$L_1 = \mu \cdot F_1 \cdot \gamma \cdot 3600 \quad (6.9)$$

$$L_2 = \mu \cdot F_2 \cdot \gamma \cdot 3600 \quad (6.10)$$

$$L_1 = 0,417 \cdot 27,56 \cdot 1,39 \cdot 3600 = 57508,57 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$L_2 = 0,417 \cdot 27,94 \cdot 1,39 \cdot 3600 = 58301,50 \text{ м}^3/\text{год}$$

Облік кількості та вміст викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище є необхідною умовою боротьби за збереження її чистоти, боротьби за здоров'я людини.

6.5 Електробезпека

Для запобігання випадків поразки електричним струмом персоналу, проектом передбачене контурне захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання з землею металевих частин електроустаткування (корпусів, станин і т.п.) які у нормальних умовах; не знаходяться під напругою, але які можуть виявитися під напругою внаслідок порушення ізоляції електроустановки, різних несправностей й ін.

Для штучного заземлення проектом передбачено застосування вертикальних електродів. Вертикальні електроди являють собою сталеві труби діаметром 40 мм і довжиною 2,5 м.

Для зв'язку вертикальних електродів застосовується сталь прямокутного перетину 3×40 мм.

Заземлювач розташовується в ґрунті по контуру (рис. 6.2)

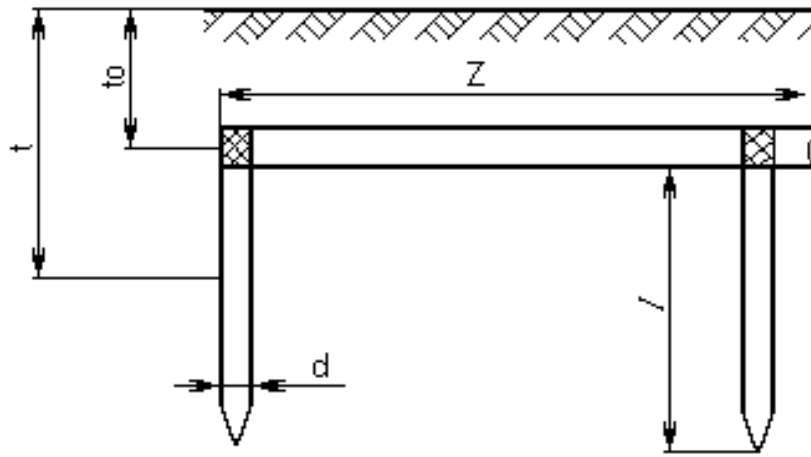


Рис. 6.2 Схема розташування заземлювачів

Опір розтіканню струму одного трубного електрода визначається за формулою:

$$R_{cmp} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right), \quad (6.11)$$

де l – довжина електрода, м;

d – діаметр електрода, м;

ρ – питомий опір ґрунту;

t – глибина розташування середини електрода від поверхні ґрунту, м:

$$t = t_0 + \frac{l}{2}, \quad (6.12)$$

де t_0 – відстань від верхньої точки заземлювача до поверхні ґрунту, м.

Приймаємо $t_0 = 0,9$ м; $l = 2,5$ м; $d = 0,04$ м; $\rho = 300$ Ом·м

Тоді:

$$t = 0,9 + \frac{2,5}{2} = 2,15 \text{ м}$$

$$R_{cmp} = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,04} + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 2,15 + 2,5}{4 \cdot 2,15 - 2,5} \right) \right) = 97,82 \text{ Ом}$$

Отримане $R_{cmp} > R_{дон}$, тому потрібно декілька заземлювачів, попередньо:

$$n' = \frac{R_{cmp}}{R_{доп}}, \quad (6.13)$$

де $R_{доп}$ – допустимий опір. При напрузі в мережі <1000 В, $R_{доп}=4$ Ом; ДНАОП 1.1.10 – 1.01– 97.

Тоді:

$$n' = \frac{97,82}{4} = 24,45 \text{ шт.}$$

приймаємо $n'=25$ шт.

Необхідна кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням екранування:

$$n = \frac{n'}{\eta_o}, \quad (6.14)$$

де η_o – коефіцієнт використання трубних заземлювачів, який враховує взаємне екранування, $\eta_o=0,6975$

$$n = \frac{25}{0,6975} = 35,84 \text{ шт.}$$

приймаємо $n=36$ шт.

Опір розтіканню струму з'єднуючої смуги визначаємо по формулі:

$$R_n = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot z} \cdot \frac{2 \cdot z^2}{b \cdot t_o}, \quad (6.15)$$

де b – ширина смуги приймаємо $b=0.04$ м;

z – довжина смуги, яка з'єднує вертикальні стрижневі електроди, м;

$$z = a \cdot n \cdot l, \quad (6.16)$$

a – відношення відстані між заземлювачами до довжини заземлювача, приймаємо $a=3$;

$$z = 3 \cdot 36 \cdot 2,5 = 270 \text{ м;}$$

$$R_{II} = \frac{300}{2 \cdot \pi \cdot 270} \cdot \ln \frac{2 \cdot 270^2}{0.04 \cdot 0.9} = 2.69 \text{ Ом;}$$

Опір групового заземлювача, який складається з вертикальних заземлювачів і з'єднуючої їх смуги, визначається по формулі:

$$R_{cp} = \frac{R_{cnp} \cdot R_n}{R_{cnp} \cdot \eta_n + R_n \cdot \eta_o \cdot n}, \quad (6.17)$$

де η_n – коефіцієнт використання горизонтальної смуги, яка з'єднує вертикальні заземлювачі, $\eta_n=0,402$

Тоді:

$$R_{cp} = \frac{97,82 \cdot 2,69}{97,82 \cdot 0,402 + 2,69 \cdot 0,6975 \cdot 36} = 2,46 \text{ Ом}$$

Порівнюючи отримане і припустиме значення (за ГОСТ 12.1.030-87), бачимо що $R_{гр} < R_{доп}$, отже, дане заземлення, задовольняє вимогам електробезпеки.

Крім заземлення, огорожень і блокувань також передбачене застосування: попереджувальної сигналізації електрозахисних засобів, знаків безпеки, допоміжних захисних засобів.

6.6 Характеристика виробництва по пожеже- і вибухонебезпечності

Цех для виготовлення транспортерної стрічки – виробництво насичене електродвигунами, різного виду електроосвітлювальними приладами, пускорегулюючою апаратурою і т.д. Усе це обладнання джерелом запалення навколо їх пожежі- і вибухонебезпечного середовища, тому що вони можуть нагріватися чи іскрити. У зв'язку з цими обставинами до конструкції електроустаткування, правилам його експлуатації, нагляду і ремонту висуваються підвищені вимоги.

У цеху використовуються пально-мастильні матеріали: компресорні мастила, каучук та гумові суміші, солідол. Температура загоряння та самозаймання відповідно: компресорного мастила 275°C-260°C, солідолу 590°C-530°C.

По "Правилах устрою електроустановок" лінія призначена для експлуатації в пожеже-небезпечних зонах класу П-Па. Категорія виробництва "В" по НАПБ Б. 07.005-86. Пожеже-небезпека технологічних процесів у значній мірі визначається фізико-хімічними властивостями сировини, проміжних і кінцевих продуктів, які беруть участь у виробництві.

У цеху пожежа може відбутися від електричної іскри, при короткому замиканні, при підвищенні температури речовини до температури спалаху, запалення від розряду статичної електрики і грозових розрядів, самозаймання обтирального матеріалу й ін.

6.7 Боротьба з надзвичайними ситуаціями на виробництві.

Надзвичайна ситуація може виникнути при використанні та зберіганні легкозаймистих речовин поблизу лінії виробництва. План-схема евакуації внаслідок надзвичайної ситуації наведена на Рисунку 7.3. В цеху знаходяться 2 балони зі стисненим ацетиленом на випадок проведення зварювальних робіт.

Балони призначені для зберігання газів і є небезпечними незалежно від того чи газ є горючим чи ні. Ймовірними причинами вибуху балона можуть стати: падіння балону, неправильне заправлення чи перенесення, контакт газу з маслом, накопичення іржі (виявляють промиванням дихлоританом). Коли з балону випускають газ, то залишають $P=0,5\text{МПа}$ для того аби можна було взяти пробу для аналізу газу.

Серед причин, що можуть призвести до загорання, відзначимо найімовірніші:

- несправність електроживлення;
- струми короткого замикання і перевантаження кабелів живлення;
- використання відкритого вогню в неналежному місці;
- застосування легкозаймистих речовин, їхнє зберігання поблизу установки.

Запобігання запаленням забезпечується такими заходами:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації;
- догляд за територією відповідно до вимог пожежної безпеки;
- обмеження в застосуванні відкритого вогню;
- паління у спеціальних місцях;
- своєчасне проведення інструкцій серед обслуговуючого персоналу;
- організація наочної агітації з техніки безпеки;

- вчасна перевірка устаткування, особливо електричного;
- дотримання вимоги на засоби пожежогасіння;
- наявність пожежної сигналізації (датчик КІ-1, приймальна станція РУОП-1).

Для гасіння невеликих вогнищ, запалень застосовують порошкові вогнегасники з речовинами ОПС-10 і ОППС-100. У цеху на відстані 30 м один від одного встановлені пожежні гідранти з рукавами по 10 м. Також у виробничому приміщенні встановлені стаціонарні установки пожежогасіння САМ-9 (порошок вогнегасний ДСТУ 3105), які при підвищенні температури до 72 °С відкривають спринклери. Захисна площа становить не менше 12 м².

Відстані до пожежних еваковиходів – 35 м, кількість виходів – 3. Ширина прорізу для дверей еваковиходів – 2,5 м згідно з СНиП 2.09.02-85.

Із засобів індивідуального захисту на підприємстві знаходиться протитеплова куртка ТК-50. План-схема евакуації зображена на рисунку 5.3.

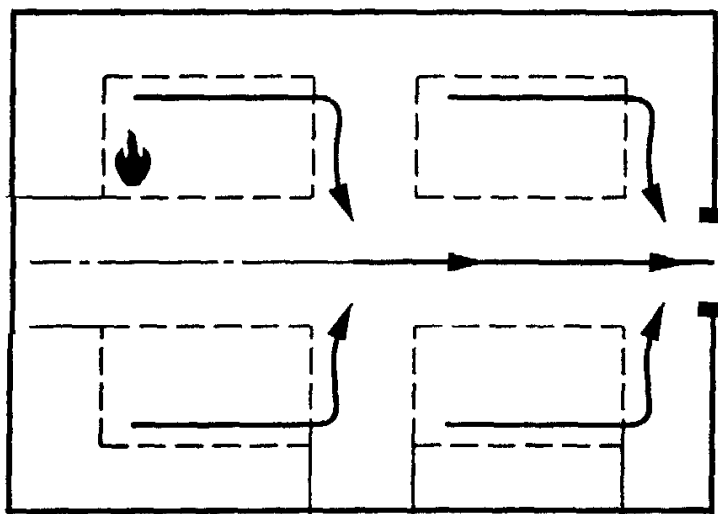
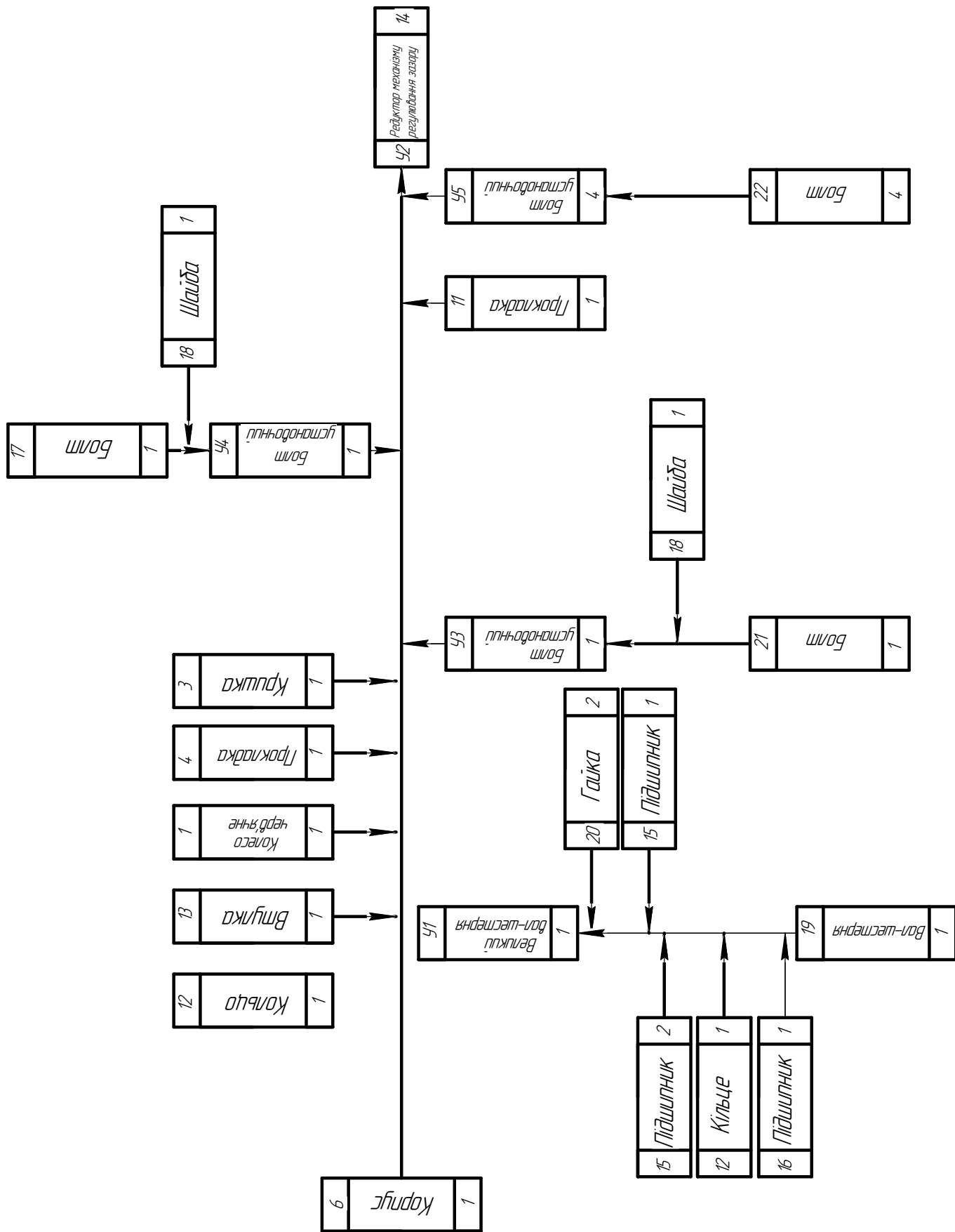


Рисунок 6.3 – План-схема евакуації

6.8 Висновки

Застосування засобів, заходів для усунення небезпечних шкідливостей на виробничому місці є невід’ємною частиною охорони праці. Тому належне виконання цих заходів та відповідальне ставлення операторів та керівництва дозволяє знизити можливість небезпек та травм на виробництві.



Інв. № дубл.		Підпис і дата		Взам. інв. №		Інв. № дубл.		Підпис і дата								
				Операційна карта слюсарних, слюсарно - складальних та електромонтажних робіт												
№ цеха	№ участка	№ роб. міс.	№ опер.	НАЙМЕНУВАННЯ ОПЕРАЦІЇ						Обладнання (найменування, модель)						
				Збирання редуктору механізму перекоосу												
№ перех	Зміст переходу									Технологічний режим		Пристосування (код та найменування)		Інструмент (код та найменування)		T _о
1	На черв'як 4 надіти кільце масловідбиваюче 28									Черв'як 4						1 хв.
										Кільце масло-						
										відбиваюче 28						
2	Нагріти підшипники 14 до t=80 °C і напресувати на черв'як 4.									Підшипник 14		Гідропрес				4 хв.
										Черв'як 4		Газовий пальник				
3	Нагріти підшипники 14 до t=80 °C і напресувати на черв'як 4.									Підшипник 14		Гідропрес				4 хв.
										Черв'як 4		Газовий пальник				
4	Накрутити гайку стопорну 29 на кінець черв'яка 4									Гайка стопорна 29				Ключ		3 хв.
										Черв'як 4				різковий		
5	На черв'як 4 надіти кільце масловідбиваюче 27									Черв'як 4						1 хв.
										Кільце масло-						
										відбиваюче 27						
6	Нагріти підшипник 16 до t=80 °C і напресувати на черв'як 4.									Підшипник 16		Гідропрес				4 хв.
										Черв'як 4		Газовий пальник				
												Розроб.	Терлецький			Арк.
												Перев.	Борщик			1
																Аркушів
		Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Вим.	Аркуш	№ док	Підпис	Дата	Н. Контр.				5

Інв.№ дубл.	Підпис і дата	Взам. інв.№	Інв. № дубл.	Підпис і дата								
Збирання редуктору механізму перекоосу				Номер операц.								
Номер переходу	Зміст переходу				Технологічний режим		К-кість	Пристосування (код та найменування)		Інструмент (код та найменування)	Т _о	
7	Перевірити вільне обертання черв'яку 4 в підшипниках 14, 16				Черв'як 4						1 хв.	
					Підшипник 14							
					Підшипник 16							
8	Надіти втулку 12 на черв'як 4.				Втулка 12						1 хв.	
					Черв'як 4							
9	Встановити черв'як 4 в корпус редуктора 3				Черв'як 4							
					Корпус 3							
10	Пригнати шпонку 25 по пазах черв'яка 4 та муфти 2				Шпонка 25					Напильник,	6 хв.	
					Черв'як 4					шабер, щуп		
					Муфта 2							
11	Встановити шпонку 25 в паз черв'яка 4, посадити на черв'як муфту 2,				Шпонка 25					Ключ різко-	7 хв.	
	накласти шайбу 23 і закріпити болтом 18				Черв'як 4					вий, молоток,		
					Болт 18					зубило		
12	Встановити прокладку 7 на корпус редуктора 3				Прокладка 7						0,5 хв	
					Корпус 3							
13	Приєднати кришку 6 до корпусу редуктора 3 з прокладкою 7 та				Кришка 6					Ключ	4 хв	
	закріпити чотирма болтами 17				Корпус 3					ріжковий		
											Арк.	
	Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Н.Контр.	

Інв.№ дубл.	Підпис і дата		Взам. інв..№	Інв. № дубл.	Підпис і дата										
Збирання редуктору механізму перекоосу					Номер операц.										
Номер переходу	Зміст переходу							Технологічний режим		К-кість	Пристосування (код та найменування)		Інструмент (код та найменування)		Т _о
14	Встановити вал 5 для прогонки шпонки							Вал 5			Підставка			1 хв	
15	Пригнати шпонку 26 по пазах валу 5 та колеса зубчастого 1							Шпонка 26					Напильник,	5 хв.	
								Вал 5					шабер, щуп		
								Колесо зубчасте 1							
16	На вал 5 надягнути шайбу 24.							Вал 5						0,5хв	
								Шайба 24							
17	Нагріти підшипник 15 до t=80 °С і напресувати на вал 5							Підшипник 15			Гідропрес			5 хв	
								Вал 5			Газовий пальник				
18	Накрутити гайку стопорну 30 на кінець валу 5							Гайка стопорна 30					Ключ ріжковий	2 хв	
								Вал 5							
19	Надягнути колесо зубчасте 1 на вал 5.							Колесо зубчасте 1					Молоток	1 хв	
								Вал 5							
20	Пригнати шпонку 26 по пазах валу 5 і колеса зубчастого 1.							Шпонка 26					Напильник,	10 хв	
								Вал 5					шабер, щуп		
								Колесо зубчасте 1							
21	Нагріти підшипник 15 до t=80 °С і напресувати на вал 5							Підшипник 15			Гідропрес			5 хв	
	Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Н.Контр.				

Инв.№ дубл.	Підпис і дата	Взам. інв.№	Инв. № дубл.	Підпис і дата											
Збирання редуктору механізму перекоосу				Номер операц.											
Номер переходу	Зміст переходу				Технологічний режим	К-кість	Пристосування (код та найменування)	Інструмент (код та найменування)	Т _о						
					Вал 5	1	Газовий пальник								
22	Нагріти корпус редуктора 3 в місці контакту з підшипником 15 і вставити				Корпус 3	1	Гідропрес		4 хв						
	вал 5				Вал 5	1	Газовий пальник								
23	Встановити прокладку 9 на кришку 8				Прокладка 9	1			1 хв.						
					Кришка 8	1									
24	Вкрутити шпильки 21 у корпус 3				Шпилька 21	4		Шпильковерт	5 хв						
					Корпус 3	1									
25	Надіти кришку 8 з прокладкою 9 на шпильки 21 та накрутити на них				Кришка 8	1		Ключ	8 хв.						
	гайки 22 зі стопорними шайбами 23				Прокладка 9	1		ріжковий							
					Гайка 22	4									
					Шайба 23	4									
26	Встановити прокладку 11 на корпус редуктора 3.				Прокладка 11	1			0,5хв						
					Корпус 3	1									
27	Приєднати кришку 10 до корпусу редуктора 3 з прокладкою 11 та				Кришка 10	1		Ключ	4 хв.						
	закріпити болтами 17.				Корпус 3	1		ріжковий							
					Прокладка 11	1									
	Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Н.Контр.				

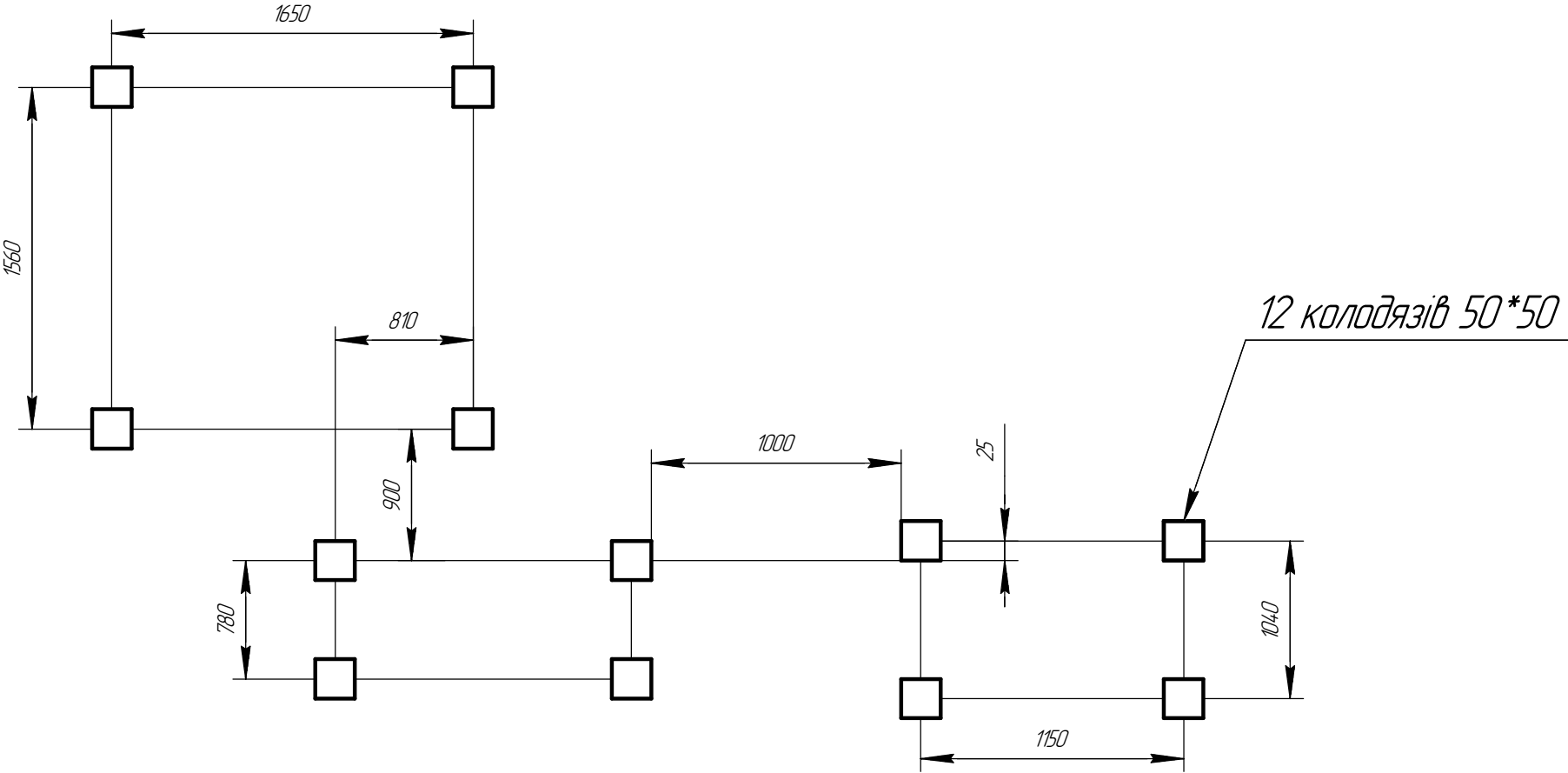
Инв.№ дубл.	Підпис і дата	Взам. інв.№	Инв. № дубл.	Підпис і дата												
Збирання редуктору механізму перекоосу				Номер операц.												
Номер переходу	Зміст переходу				Технологічний режим	К-кість	Пристосування (код та найменування)	Інструмент (код та найменування)	Т _о							
					Болт 17	4										
28	Приєднати пластину 13 до корпусу редуктора 3 та закріпити болтами 19				Пластина 13	1		Ключ	4 хв							
	вал 5				Корпус 3	1		ріжковий								
29	Вкрутити пробку 31 з прокладкою 32 в корпус редуктора 3				Пробка 31	1		Ключ	1 хв.							
					Прокладка 32	1		ріжковий								
					Корпус 3	1										
	Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	Н.Контр.					

Карта ескізів

ЛП91мп.087253.00-70ТЕ

Номер операції

План розміщення фундаментних болтів

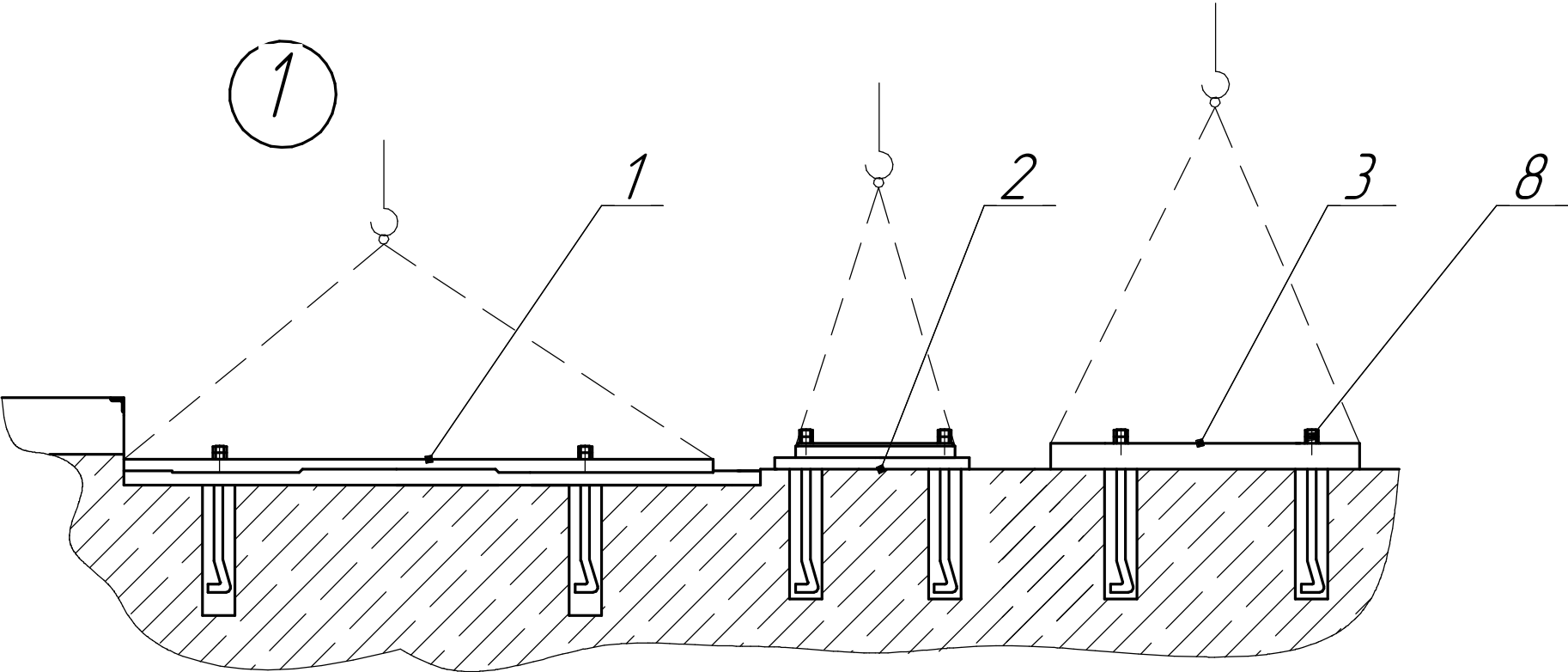


											Розробив	Терлецький О.І.			Арк.
											Перевірив	Борщук С.О.			1
															Арк.
Зм.	Арк.	Підпис	Дата	Н.контр.	Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Н.контр.					

Карта ескізів

ЛП91мп.087253.00-70TE

Номер операції

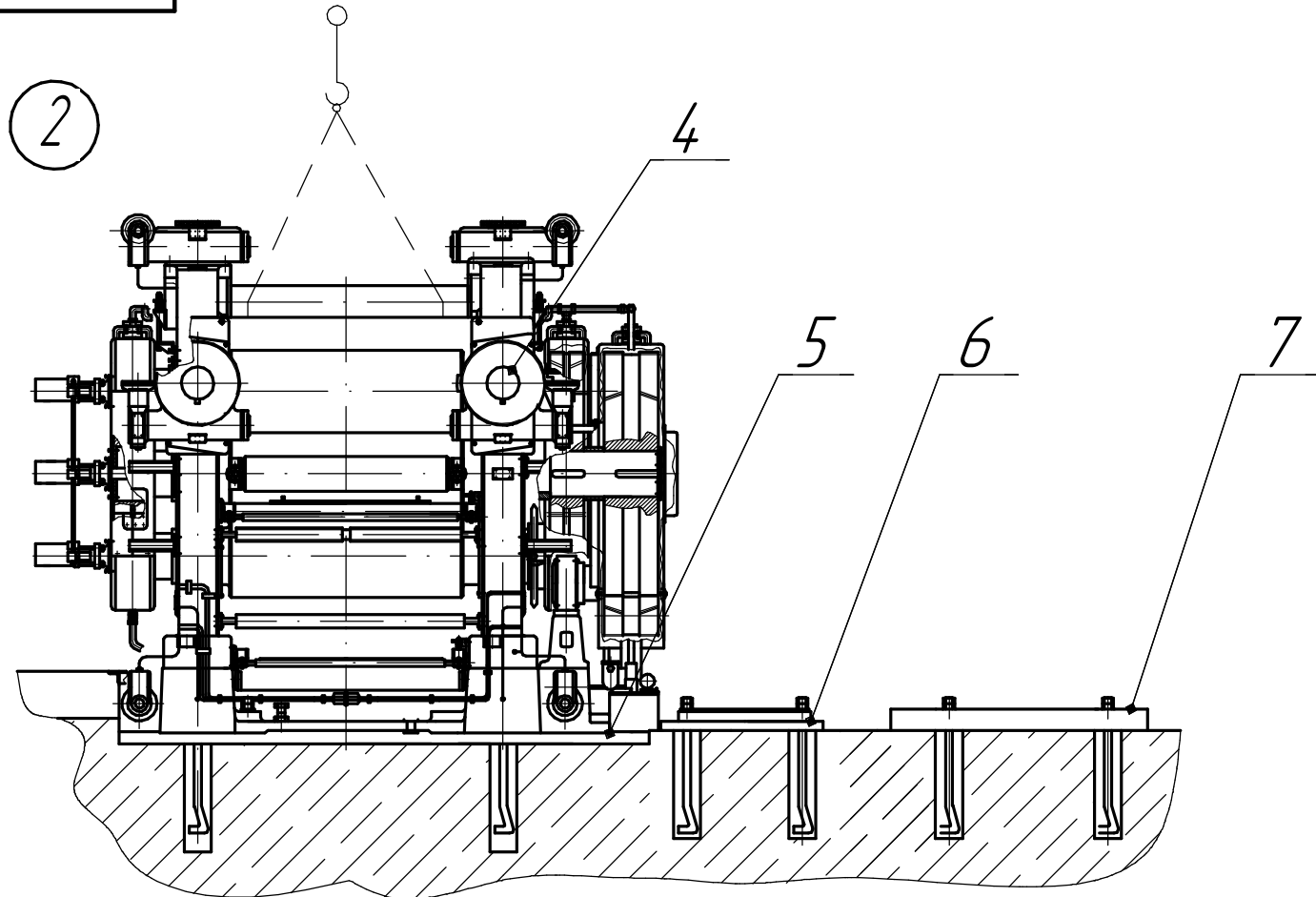


											Розробив	Терлецький О.І.		Арк.
											Перевірив	Борщук С.О.		1
														Арк.
Зм.	Арк.	Підпис	Дата	Н.контр.	Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Н.контр.				

Карта ескізів

ЛП91мп.087253.00-70TE

Номер операції

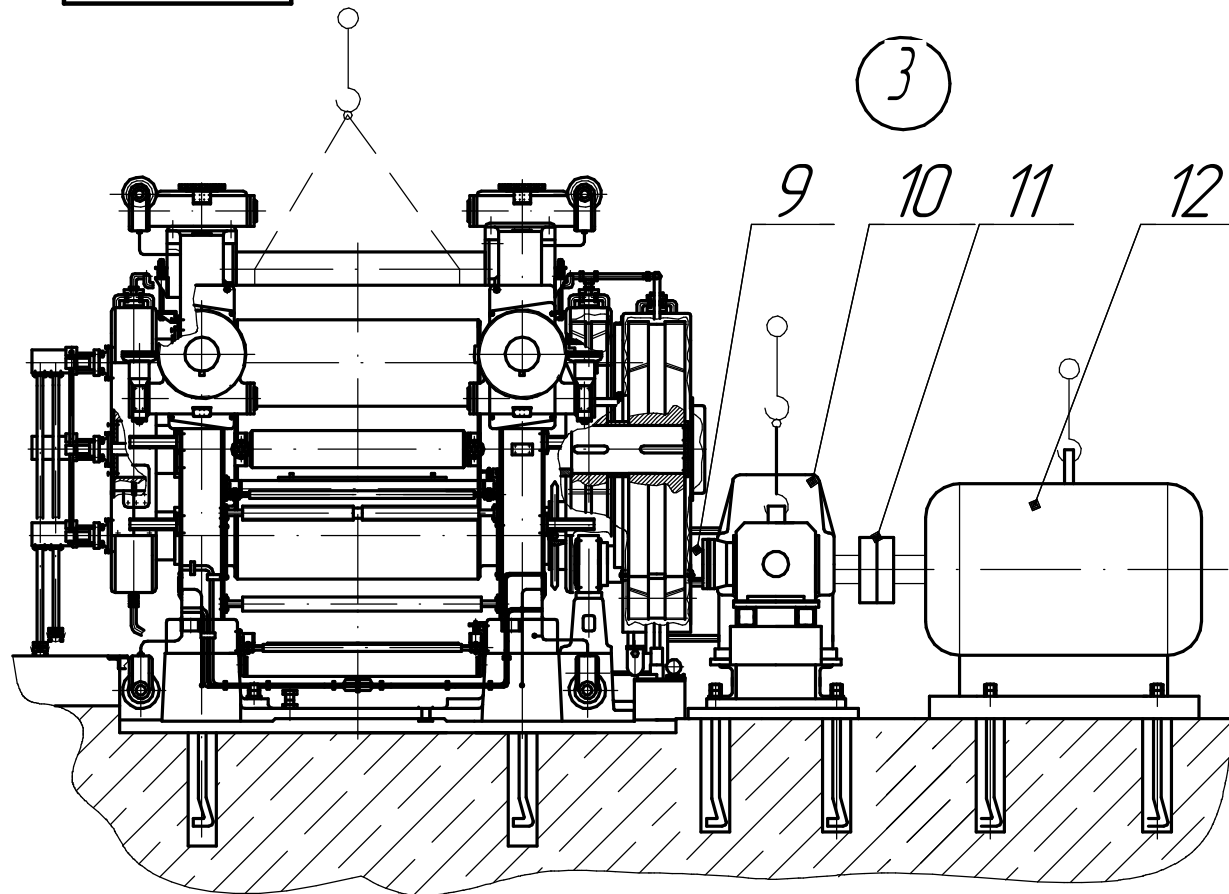


										Розробив	Терлецький О.І.		Арк.
										Перевірив	Борщук С.О.		1
													Арк.
Зм.	Арк.	Підпис	Дата	Н.контр.	Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Н.контр.			

Карта ескізів

ЛП91мп.087253.00-70TE

Номер операції



											Розробив	Терлецький О.І.		Арк.
											Перевірив	Борщук С.О.		1
														Арк.
Зм.	Арк.	Підпис	Дата	Н.контр.	Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Н.контр.				

ГОСТ 3.1407-74 Форма 1а

Інд. №		Підпис і дата		Взам. інв. №		Інв. № дубл.		Підпис і дата							
№ цеха	№ участ	№ опер	Найменування операції							Обладнання (найменування, модель)					
			Монтаж Г-подібного каландра на фундамент												
Номер переходу	Зміст переходу							Технологічний режим		Кіл.	Пристосування		Інструмент		T _о , хв.
1.	Застропити і підняти станину каландра, встановити болти 6 у відповідні отвори станини 2. Затягнути болти після затвердіння бетону							Станина 2		1			Ключ		30
								Фундаментний болт 9		14			гайковий S = 36		
2.	Застропити, підняти каландр. Встановити їх на станині 2. За допомогою болтів та гайок закріпити каландр на станині							Болт 9		15			Гайковий		45
								Гайка 10		4			ключ S = 30		
3	Застропити, підняти редуктор 10 та електродвигун 12, з'єднати муфтою 11. За допомогою болтів 9 та гайок 10 закріпити їх на статині							Редуктор 10		1					25
								Електродвигун 12		1					
								Муфта 11		1					
	Загальний час монтажу														100
											Розроб.	Терлецький			Арк.
											Перевір.	Борщик			
															Арк.
	Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Н.контр.				

№ позиції	Найменування і позначення змащуємого вузла	Найменування змащувального матеріалу	Кількість точок змащування	Спосіб нанесення мастила	Періодичність
1	Роликовий підшипник середньої серії 2315 ГОСТ5721-79 призначений для забезпечення обертання статора головного електродвигуна.	УС-3(Т) ГОСТ1033-51	2	Потрібно заповнити порожнину корпусу підшипника на 2/3 мастилом, потім раз на три місяці добавляти в кожну порожнину 270 г мастила.	Зміну мастила проводити після промивки підшипників один раз в 8-10 місяців
2	Змащується муфта, що з'єднує електродвигун з блоком редуктором	ЦИАТИМ 201 ГОСТ6267-74	6	Направляючі для переміщення нижнього затвора змащуються за допомогою масти-лок, що наби-ваються літєвим мастилом.	Поповнення мастилок проводити 1 раз в 8 днів.
3	Змащування блоку редуктора за допомогою вимушеного змащення	Індустріальне мастило 20 ГОСТ 1707-51	6	До місць змащування мастило потрапляє по системі вимушеного змащування від насоса типу 12С76-НМ	Зміну мастила проводити після заміни манжетів 2 рази в 10-12 місяців
4	Змащування приводних зубчастих колес	Індустріальне мастило 20 ГОСТ 1707-51	1	До місць змащування мастило потрапляє по системі вимушеного змащування від насоса типу 12С76-НМ	Зміну мастила проводити після заміни манжетів 2 рази в 10-12 місяців
5	Змащування фрикційних зубчастих колес, що розміщені зі сторони проводних колес.	Індустріальне мастило 20 ГОСТ 1707-51	1	До місць змащування мастило потрапляє по системі вимушеного змащування від насоса типу 12С76-НМ	Зміну мастила проводити після заміни манжетів 2 рази в 10-12 місяців
6	Змащення механізму регулювання зазору	Індустріальне мастило 20 ГОСТ20799-75	6	Редуктор механізму регулювання зазору змащується спеціальними мастилками	Поповнення мастилок проводити 1 раз в 8 днів
7	Змащується підшипник валків	УС-3(Т) ГОСТ1033-51	8	Потрібно заповнити порожнину корпусу підшипника на 2/3 мастилом за допомогою насосів НРГ-М	Зміну мастила проводити після промивки підшипників один раз в 8-10 місяців

№ позиції	Найменування і позначення змащуємого вузла	Найменуван ня змащу- вального матеріалу	Кількість точок змащування	Спосіб нанесення мастила	Періодичність
8	Змащування фрикційних зубчастих колес, що розміщені зі сторони механізму підводу теплоносія.	Індустріальне мастило 20 ГОСТ 1707-51	1	До місць змащування мастило попадає по системі вимушеного змащування від насоса типу 12С76-НМ	Зміну мастила проводити після заміни манжетів 2 рази в 10-12 місяців
9	Муфта універсальна, що передає крутний момент від блок- редуктора до каландра	УС-3(Т) ГОСТ1033-51	2	Шарніри муфти змащуються шля- хом набивки мас- тила всередину через спеціальні мастилки	Поповнення мастилок проводити 1 раз в 1 місяць
10	Змащуються підшипники, що зна- ходяться в механізмі підводу теплоносія.	ЦИАТИМ221 ГОСТ9433-80	4	Підшипники зма- щуються шляхом набивки мастила в порожнину через спеціальними мастилками	Поповнення мастилок проводити 1 раз в 8 днів
11	Підшипники допо- міжних, натяжних і розширюючих при- строїв	УС-3(Т) ГОСТ1033-51	12	Підшипники зма- щуються шляхом набивки мастила всередину через мастилки	Поповнення мастилок проводити 1 раз в 1 місяць

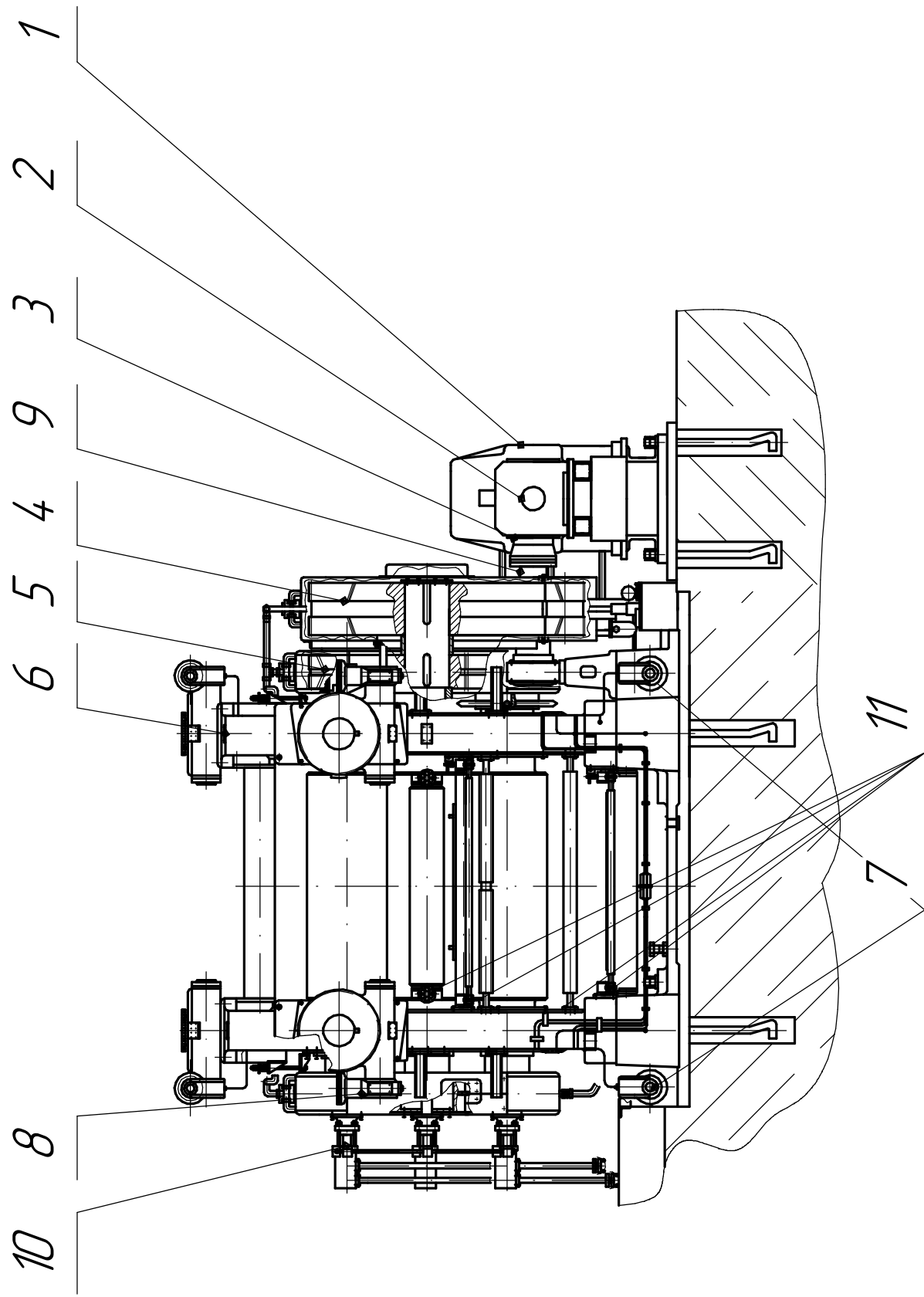
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	Терлецкий Борщук	№ докум.	Подп.	Дата

ЛП91мп.087253.00-70TE

Лист

ЛП91мп.087253.00-70TE



Карта змашування календра

потрібні параметри. А також потрібно зробити фаски та округлення на валку згідно креслення, для цього використаємо команди CHAMFER та EDGEFILLET.

В результаті отримуємо 3D-модель базового валка, який будемо використовувати для подальших розрахунків.

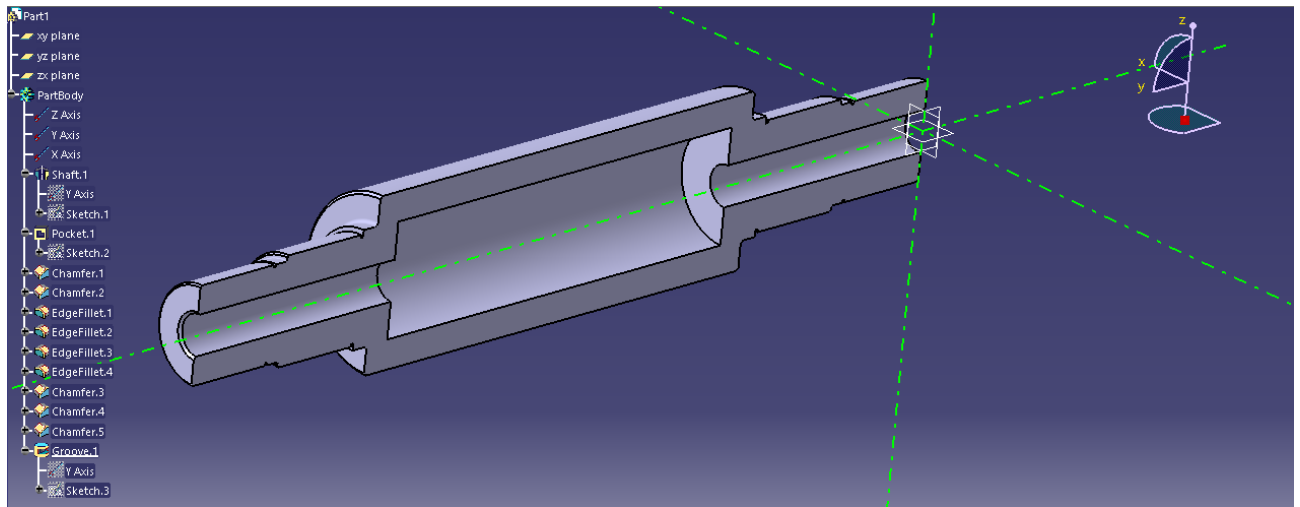


Рисунок 8.3 – 3D-модель базового валка

8.1.2 Створення модернізованої частини вузла

Для модернізованого вузла в системі САПІА для створення деталі обираємо Start Mechanical Design Part Design. В площині xz за допомогою команди Sketch робимо ескіз на якому зображуємо профіль конструкції з відповідними розмірами на кресленні, яку отримаємо за допомогою обертання навколо своєї осі. Вона буде такою ж як на рисинку 7.1. Далі потрібно виконати центральний канал. Для цього знову використаємо команду POKKET, вказавши в діалоговому вікні потрібні параметри згідно кресленню.

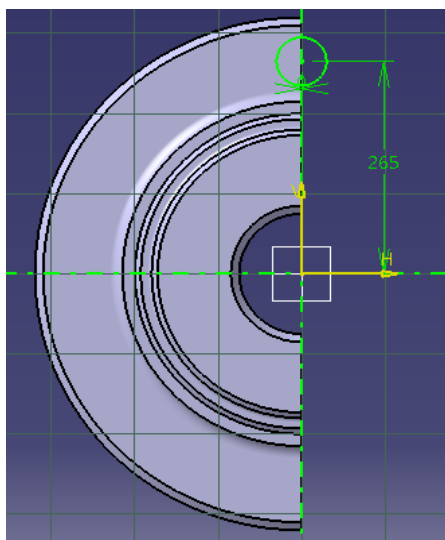


Рисунок 8.4 – ескіз пробок

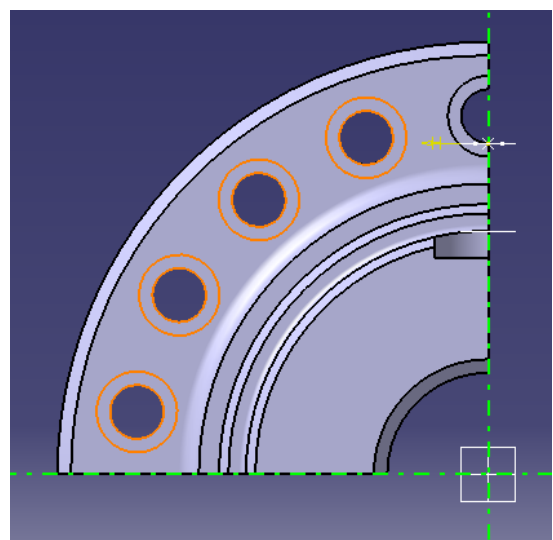


Рисунок 8.5 – командою CIRCSPATTERN

Для отримання периферійних каналів потрібно на бічних поверхнях заготовки, яку я отримав, створити ескіз отворів для каналів та використавши команду **ROCKET** (рисунок 8.4) отримав периферійний отвір та розмножив його допомогою команди **CIRCPATTERN** (рисунок 8.5) кількістю 32 шт. по бічній поверхні.

Наступним завданням, яке стоїть є створення бічних похилих каналів. Для цього спочатку потрібно створити додаткові площини в периферійному каналі з обох сторін валка, та на відстані від торця каналу на цій площині зробити ескіз бічного каналу – ним буде коло.

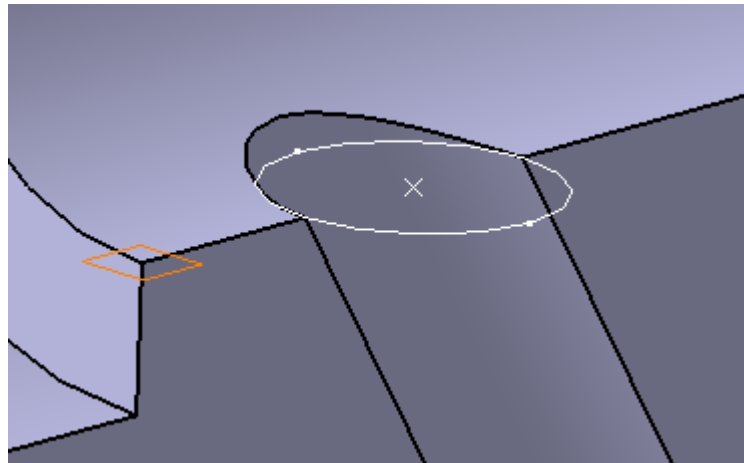


Рисунок 8.6 – площина (квадрат) та ескіз бічного отвору (коло)

Такі самі дії потрібно зробити на протилежній поверхні периферійного отвору. Та знову за допомогою команди **ROCKET** під заданим на кресленні кутом отримати бічний канал, який з'єднає центральний і периферійний канали. Потім потрібно їх розмножити для кожного периферійного каналу за допомогою команди **CIRCPATTERN**. Результат цих операцій зображено на рисунку 8.7.

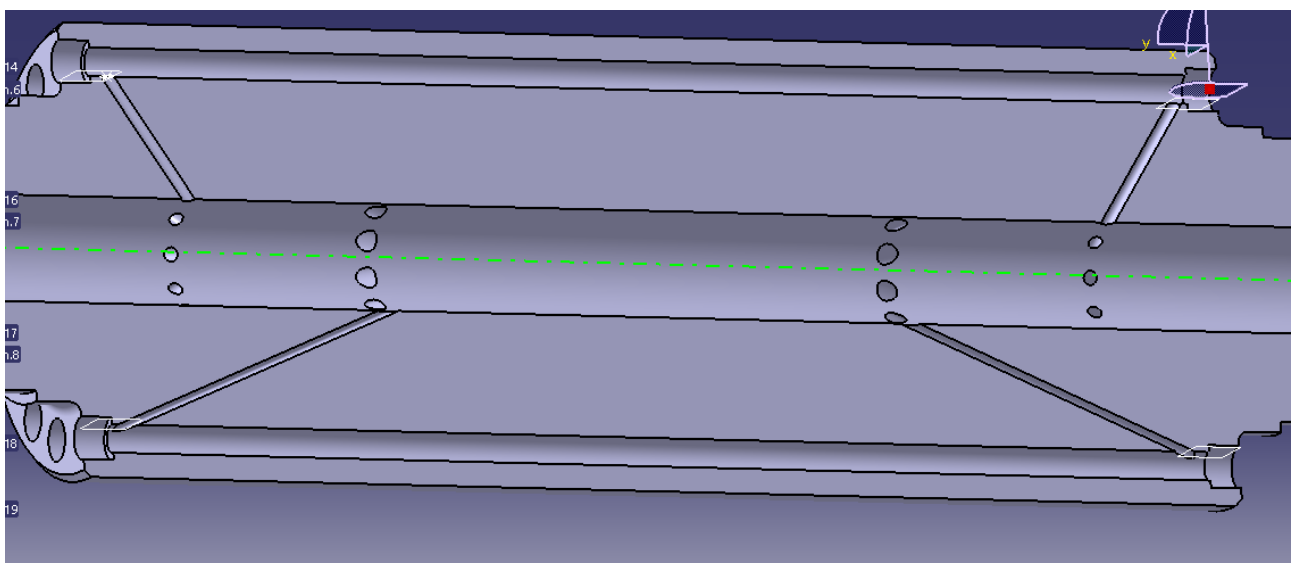


Рисунок 8.7 – результат створення бічних отворів

Далі потрібно зробити шпонкові пази. Для цього на поверхні валка створюємо додаткову поверхню та робимо ескіз паза за розмірами наведеними в кресленні. Та за допомогою команди РОСКЕТ в діалоговому вікні задаю висоту шпонкового паза і отримую його.

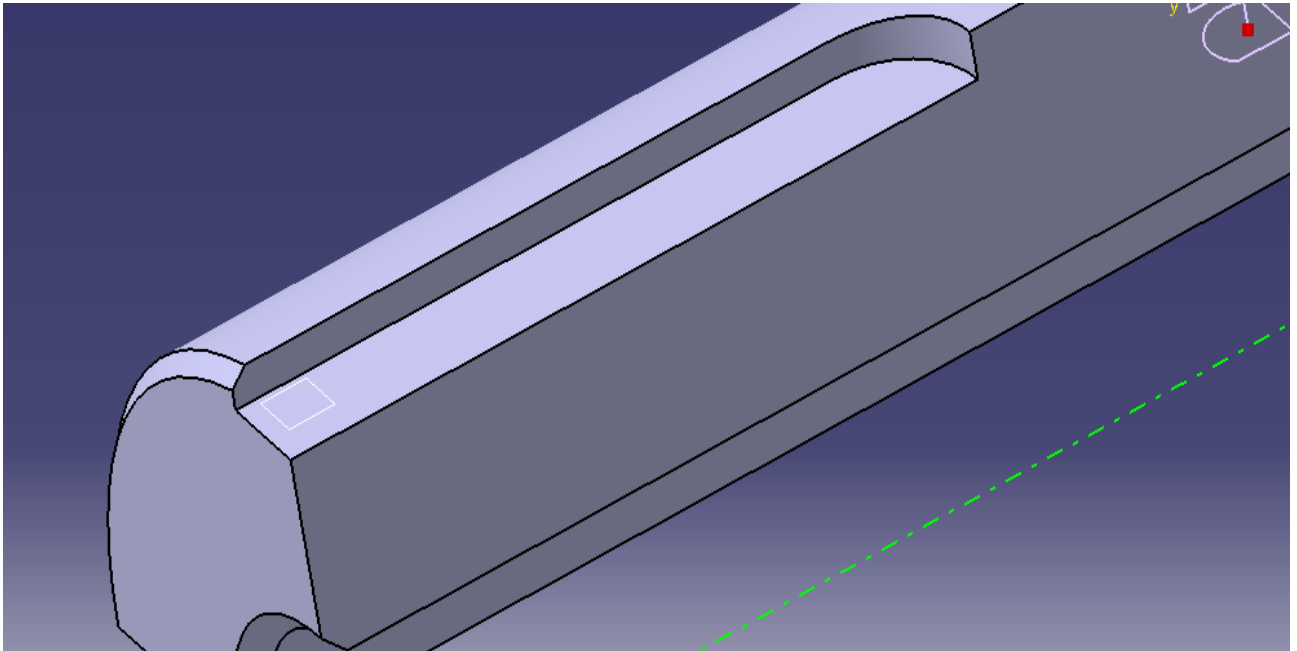


Рисунок 8.8 – шпонковий паз

Далі залишилося зробити округлення та фаски. Отримав їх за допомогою команд EDGEFILLET та CHAMFER відповідно. Результатом роботи стала модернізована 3D-модель валка, зображена на рисунку 8.9.

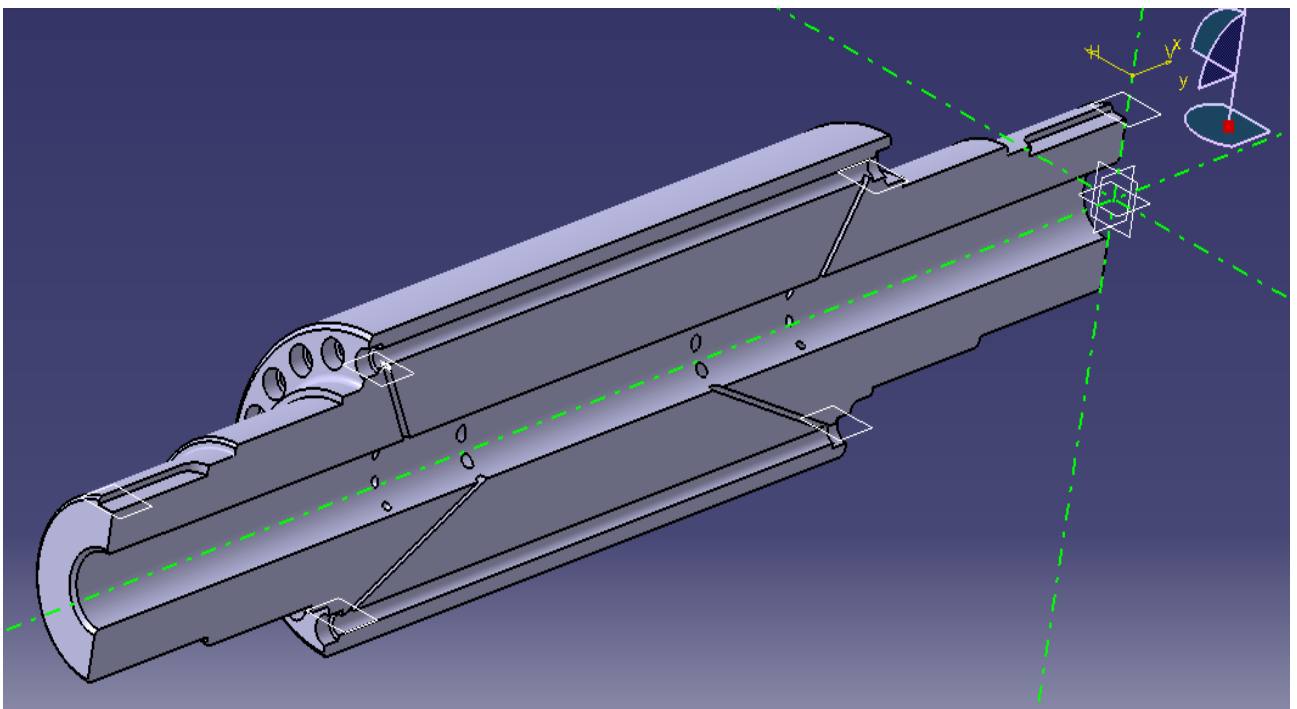


Рисунок 8.9 – модернізована 3D-модель валка

8.2 Розрахунки для базової моделі модернізованого вузла

Для розрахунків вузла вирішив використовувати програмне забезпечення ANSYS 2020 R1 ACADEMIC, призначене для подібного типу задач. Модулі програмного забезпечення, які я використав це – **Stady-State Thermal** та **Static Structural**.

Створюємо схему проекту **Stady-State Thermal** та **Static Structural**

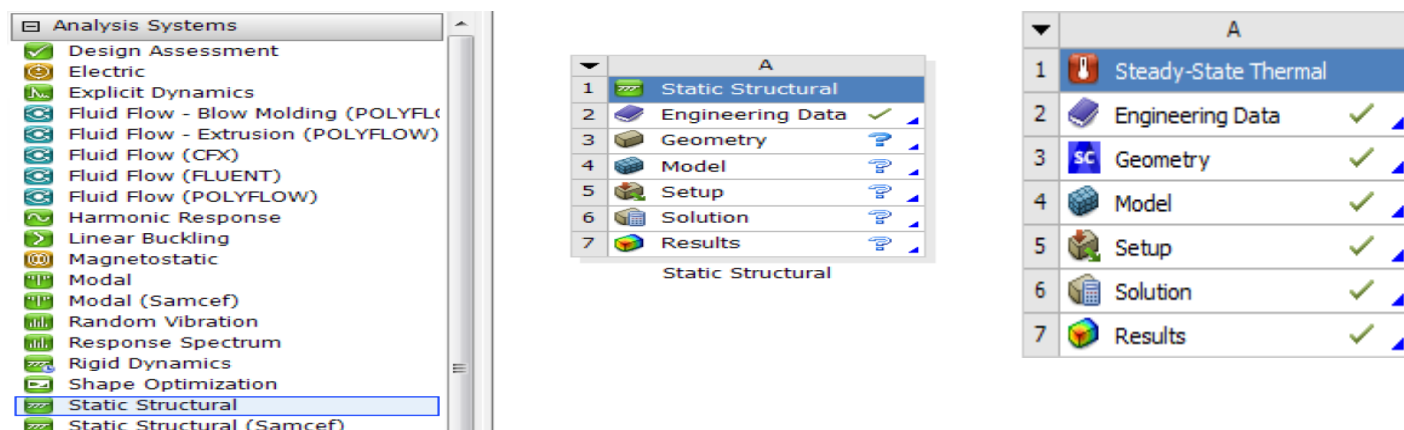


Рисунок 8.10 – створення середовища для виконання розрахунку

Модель створена в програмі CATIA та збережена в форматі .stp. Для додання її до проекту клікаємо правою клавішею миші на **Geometry** в **Stady-State Thermal** та обираємо import geometry, далі вибираємо заздалегідь створену модель. Закриваємо Design Modeler.

Далі заходимо в **Model Stady-State Thermal**. В дереві проекту **Tree Outline > Mesh**, в меню **Details > Sizing > Element Size** задаємо значення середнього розміру елементів. Або користуємося автоматичним підбором сітки. Якщо результат незадовільний то корегуємо вручну.

В розділі **Stady-State Thermal** задаємо температуру ззовні та всередині деталі.

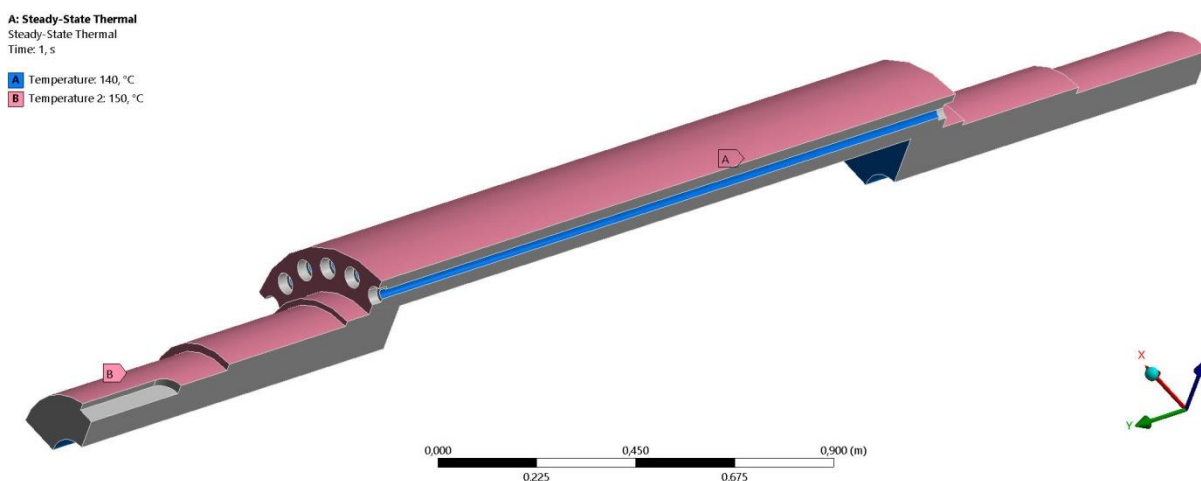


Рисунок 8.11 – схема задання температур в тілі

В розділі **Solution** обираємо розрахунки, які б ми хотіли бачити. В даному випадку це **Temperature** і **Total Heat Flux**.

В Workbench переміщуємо Model **Stady-State Thermal** до Model **Static Structural** та Solution **Stady-State Thermal** до Setup **Static Structural**. Всі ці махінації приводять до такого результату:

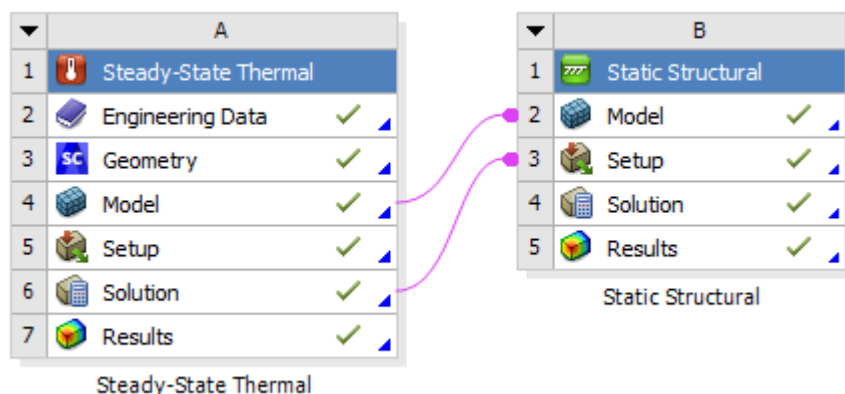


Рисунок 8.12 – розташування середовищ в Workbench

Далі переходимо до середовища **Static Structural > Model**. Так, як ми добавили модель в попередньому середовищі та добавили в ньому сітку, то переходимо зразу до задавання закріплень та сил. Так, як в нас чверть деталі то потрібно її закріпити так, щоб розрахунок проводився як для цілої деталі.

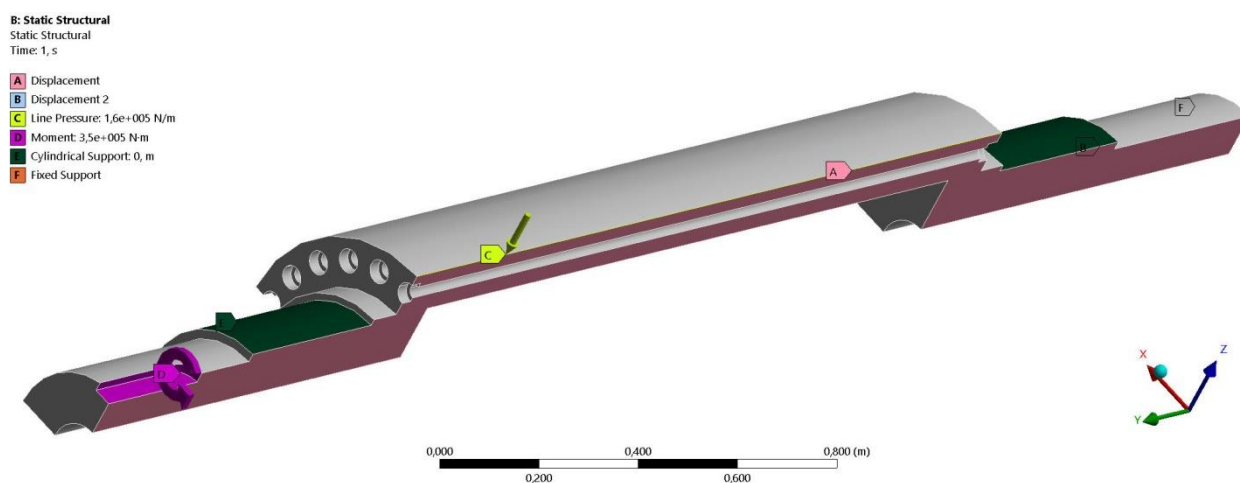


Рисунок 8.13 – закріплення та сили, що діють на тіло

Далі переходимо в розділ Solution. Тут додаємо результати, які б ми хотіли бачити: Total Deformation, Equivalent Elastic Strain, Equivalent Stress та Safety Factor. Після цього командою Solve розраховуємо задане тіло.

З отриманих результатів основними «критичними» для оцінки вузла є тепловий потік (Total Heat Flux), загальні деформації (Total Deformation) та запас міцності (Safety Factor).

Спочатку потрібно оцінити вузол на механічні характеристики. Запас міцності (Safety Factor) корисний для визначення того, чи деталь критично zdeформується чи ні. Для того, щоб це визначити потрібно, щоб коефіцієнт на цьому розрахунку був більше ніж 1,2 ($k > 1,2$).

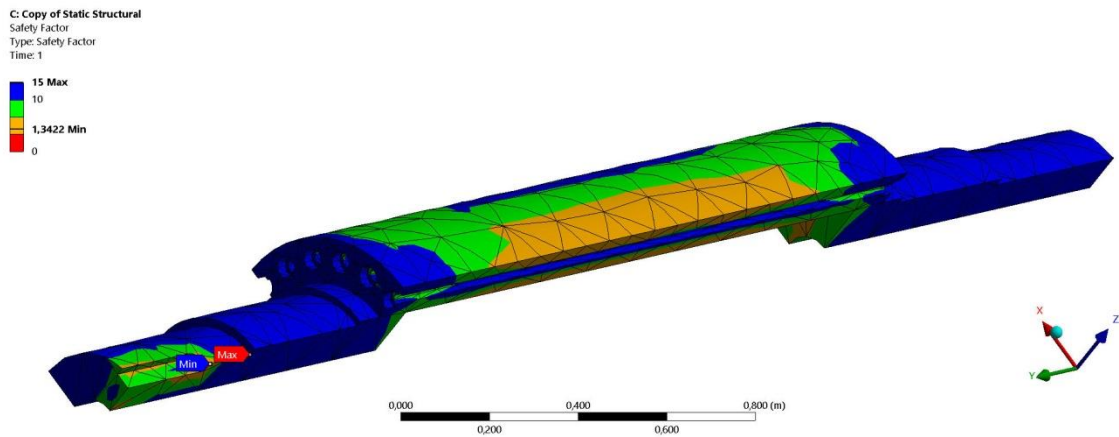


Рисунок 8.14 – результат розрахунку запасу міцності

Завдяки розрахунку видно, що коефіцієнт запасу міцності задовільний, тобто більший ніж 1,2. Це говорить про те, що деталь не зламається.

Далі потрібно поглянути на результат загальних деформацій (Total Deformation), який покаже де знаходяться найбільш навантажені зони та їх розмір (рисунок 8.15).

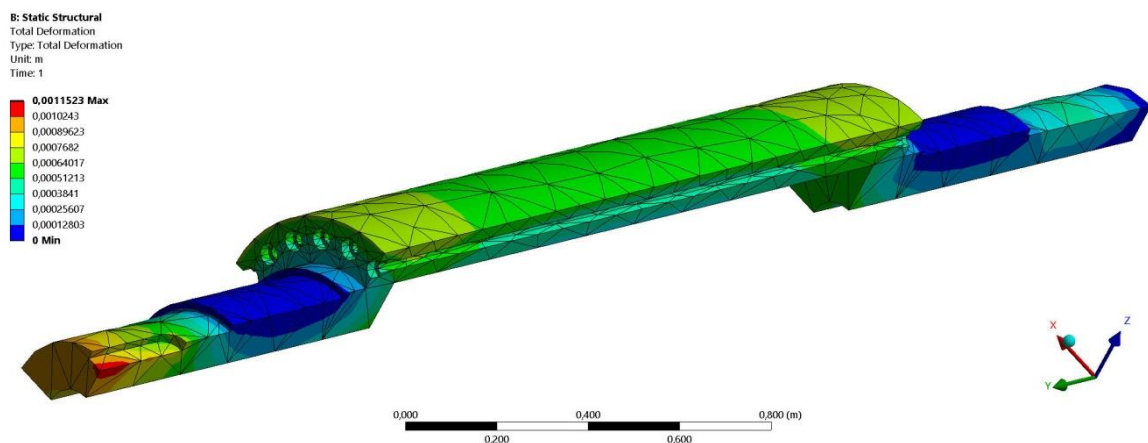


Рисунок 8.15 – результат розрахунку загальних деформацій

Зі знімку видно, найбільш навантаженим і деформованим місцем є шпонковий паз.

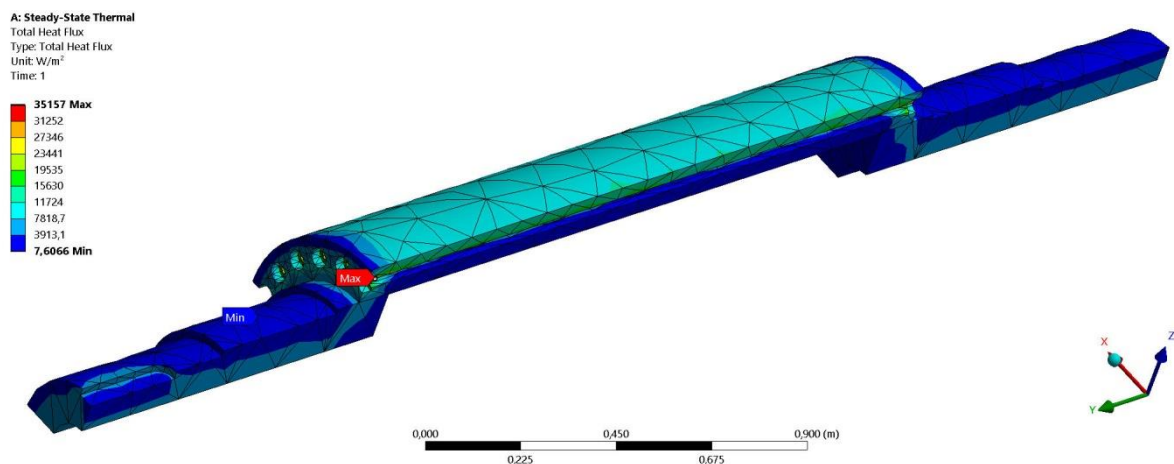
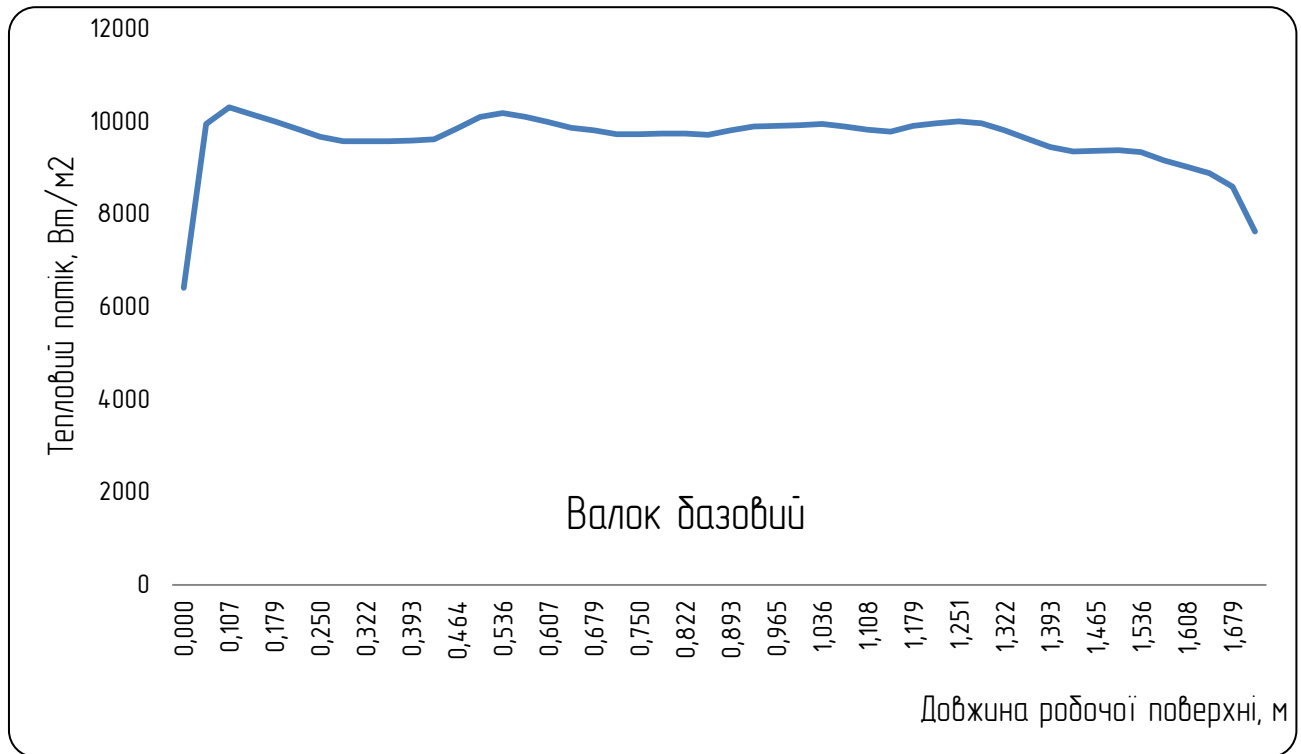


Рисунок 8.16 – результат розрахунку теплового потоку

Це відбувається тому, що на нього діє крутний момент. В цьому місці зона деформується на 1,15 мм, що є допустимим значенням.

Після визначення того, що конструкція витримує навантаження, можна приступити до основного результату – визначення величини теплового потоку по робочій поверхні валка (рисунок 8.15).

Зі знімка видно, що величина розподілу теплового потоку приблизно знаходиться в межах 11кВт/м². Для точного результату потрібно побудувати графік.



Графік 8.1 – розподіл теплового потоку по робочій поверхні валка

Середнє значення теплового потоку по довжині робочої поверхні. Вибірка чисел по довжині робочого органу (Додаток Б).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n).$$

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{453771,1}{48} = 9453,56 \text{ Вт/м}^2$$

8.3 Розрахунки для модернізованої моделі

Для модернізованої моделі потрібно зробити такі ж дії, які були описані в розділі 8.2. Тому показано лише схему задання температур, навантажень та закріплень для модернізованої моделі (рисунок 8.17 – 8.18). Основним є отримання результатів та їх порівняння з результатами базової конструкції.

A: Steady-State Thermal
Steady-State Thermal
Time: 1, s

A Temperature: 140, °C
B Temperature 2: 150, °C

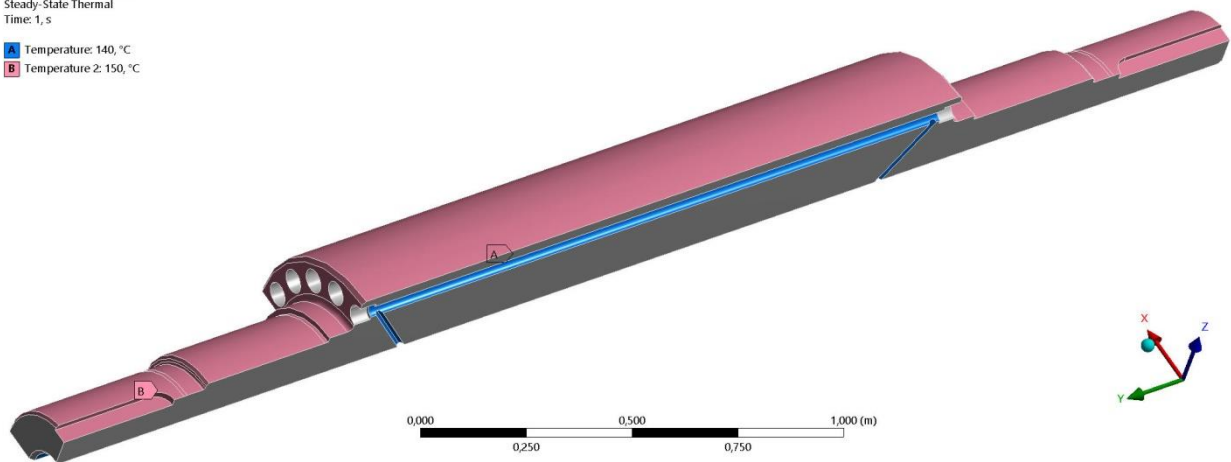


Рисунок 8.17 – схема задання температур в модернізованому валку

B: Static Structural
Static Structural
Time: 1, s

A Displacement 2
B Displacement
C Line Pressure: 1,6e+005 N/m
D Cylindrical Support: 0, m
E Moment: 3,5e+005 N·m
F Fixed Support

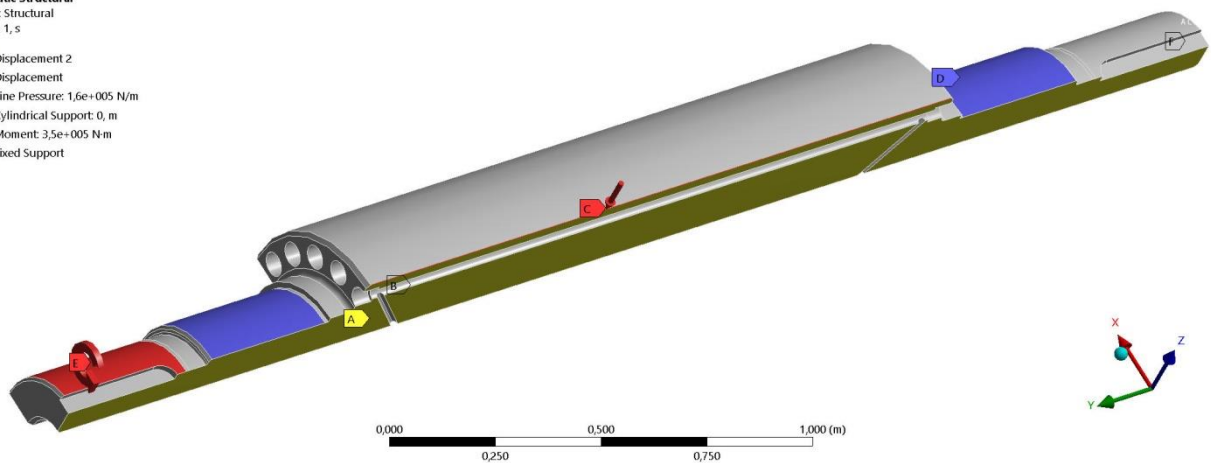


Рисунок 8.18 – схема задання температур в модернізованому валку

Знову потрібно оцінити вузол на механічні характеристики такі, як запас міцності та загальні деформації.

A: 1
Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1

15 Max
10
5
1,2489 Min
0

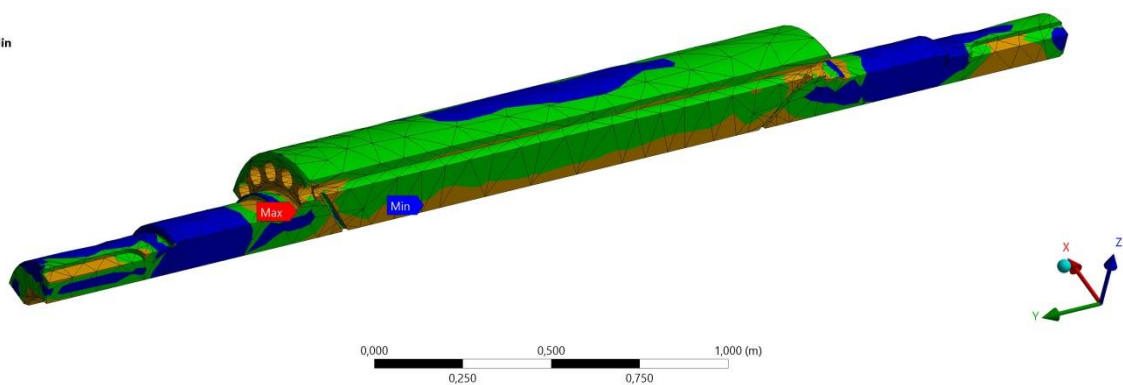


Рисунок 8.19 – результат розрахунку запасу міцності

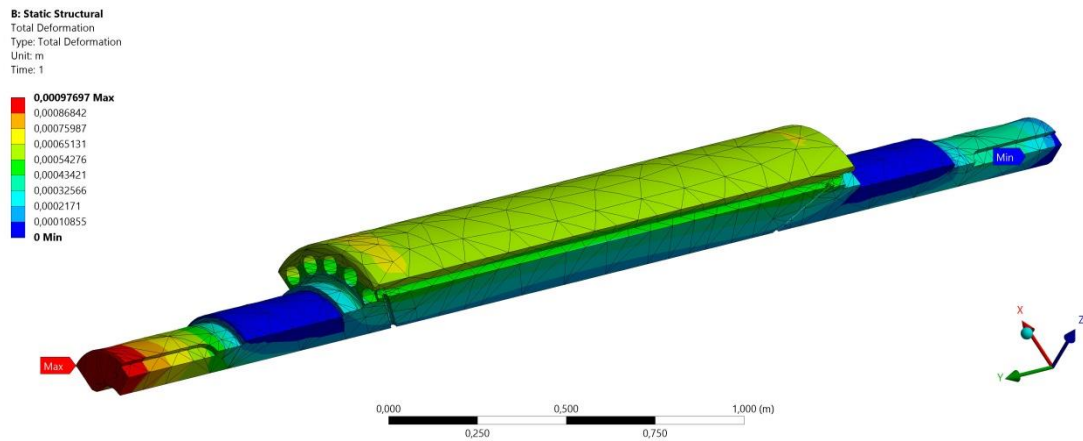


Рисунок 8.20 – результат розрахунку загальних деформацій

З отриманих результатів видно, що механічні характеристики модернізованого вузла майже не відрізняються від характеристик базового. Це говорить про те, що модернізований вузол витримає навантаження, які до нього будуть прикладатися.

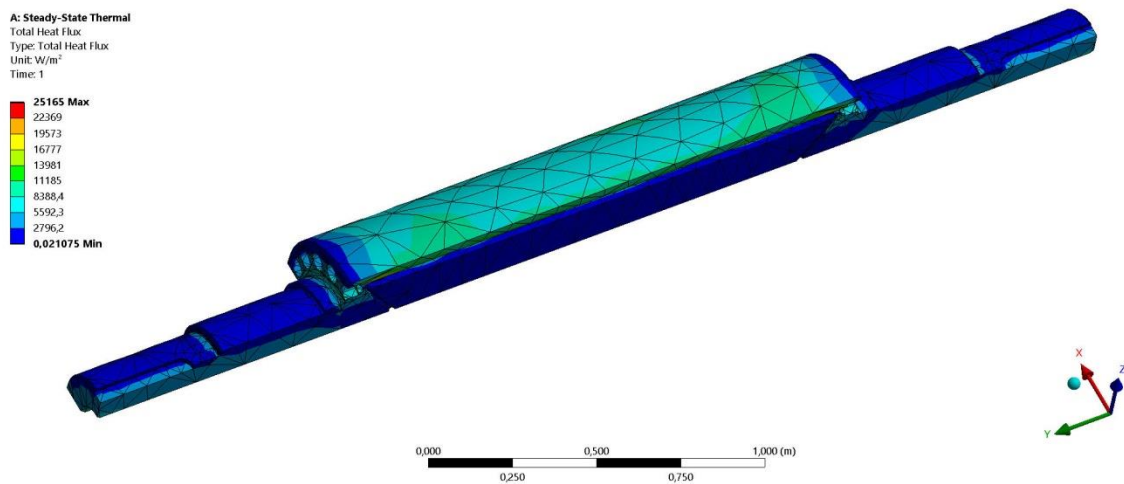
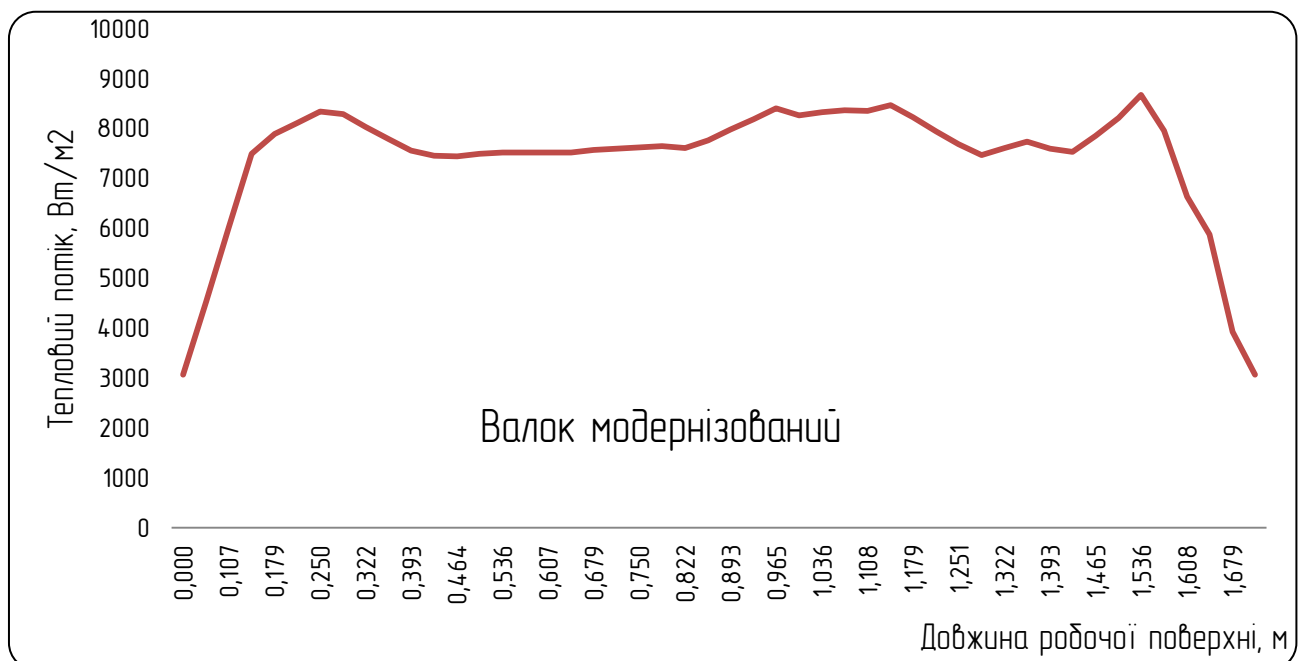


Рисунок 8.21 – результат розрахунку теплового потоку



Графік 8.2 - розподіл теплового потоку по робочій поверхні валка

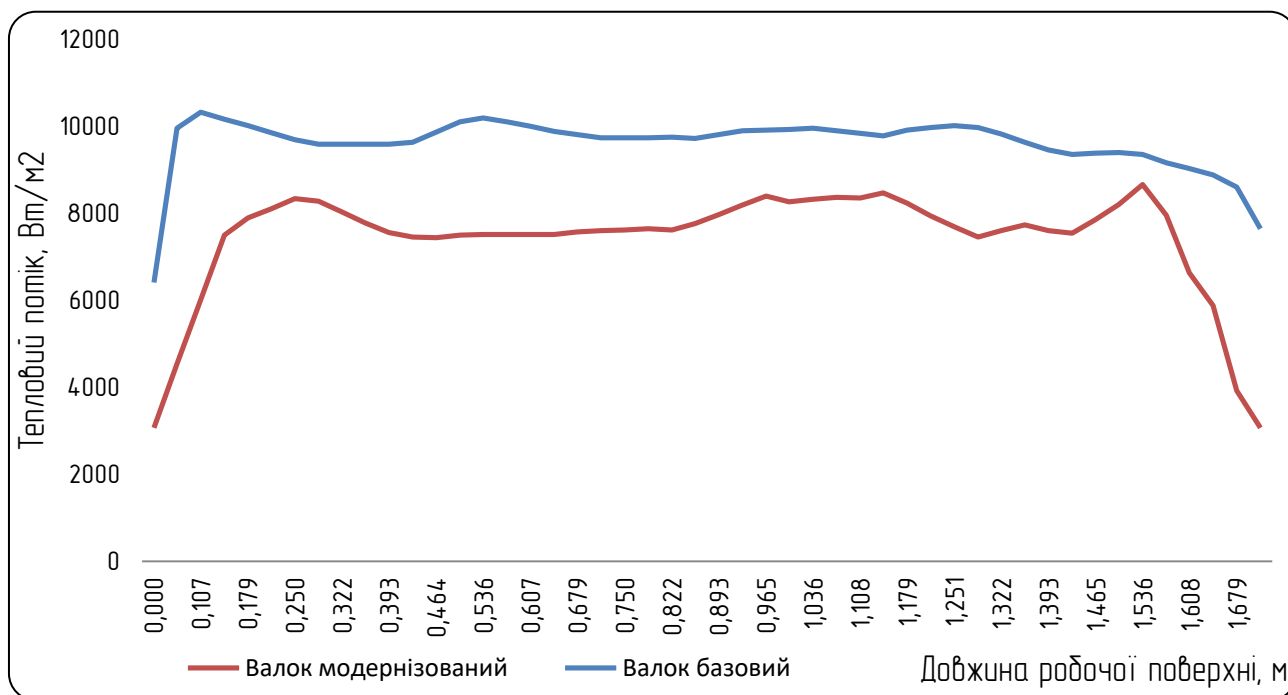
Зі знімку видно, що тепловий потік по робочій поверхні валка помітно зменшився. Для більш достовірного результату потрібно побудувати графік (графік 8.2) і порахувати середнє значення по поверхні.

Середнє значення теплового потоку по довжині робочої поверхні. Вибірка чисел по довжині робочого органу (Додаток Б).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n).$$

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{352355,8}{48} = 7340,74 \text{ Вт/м}^2$$

Щоб визначити кількісний вплив модернізації валка на параметри установки, потрібно дізнатися на скільки змінився тепловий потік. Для цього побудовано графік, на якому краще видно різницю між базовою і модернізованою моделлю (графік 8.3) та визначити результат у відсотках від середнього розподілу теплового потоку на робочій поверхні.



Графік 8.3 - розподіл теплового потоку по робочій поверхні обох валків

Визначимо зменшення середнього теплового потоку в мод. валку, де $Q_{c.mod}$ та $Q_{c.baz}$ – тепловий потік модернізованого та базового валків.

$$\Delta = \left| \frac{Q_{c.mod} - Q_{c.baz}}{Q_{c.baz}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{7340,74 - 9453,56}{9453,56} \right| \cdot 100\% = 22,34\%$$

8.4 Аналіз достовірності отриманих результатів

У науково-дослідницькій практиці часто буває необхідно порівняння двох середніх арифметичних величин, двох показників між собою, наприклад, при порівнянні результатів у контрольній та експериментальній групах.

Застосовуваний метод оцінки достовірності різниці показників (середніх величин) дозволяє встановити: виявлені відмінності істотні або вони є результатом дії випадкових причин.[24]

В основі методу лежить визначення так званого критерію достовірності (t) - критерію Ст'юдента. Це параметричний метод, який використовується для перевірки гіпотез про достовірність різниці середніх при аналізі кількісних даних. Метод Ст'юдента різний для незалежних і залежних вибірок. Незалежні вибірки отримуються при дослідженні двох різних груп випробовуваних. У разі незалежних вибірок для аналізу різниці середніх застосовують формулу:

$$t = \frac{|M_1 - M_2|}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

де M_1, M_2 — середнє арифметичне, σ_1, σ_2 — стандартне відхилення, а N_1, N_2 — розміри вибірок. Кількість ступенів свободи розраховують як:

$$df = N_1 + N_2 - 2$$

Щоб визначити достовірність отриманих результатів, потрібно визначити критерій Ст'юдента «t» для незалежних вибірок. Вибірki та програмний розрахунок стандартного відхилення знаходяться в додатку Б.

Параметри для розрахунку критерію Ст'юдента Таблиця 8.1

	Модернізований валок	Базовий валок
M	7496,99 Вт/м ²	9680,78 Вт/м ²
N	47	47
σ	1104,54	449,77

Розрахуємо критерій Ст'юдента «t»:

$$t = \frac{|M_1 - M_2|}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}} = \frac{|7496,99 - 9680,78|}{\sqrt{\frac{1104^2}{47} + \frac{449,77^2}{47}}} = 12,55$$

Кількість ступенів свободи:

$$df = N_1 + N_2 - 2 = 47 + 47 - 2 = 92$$

80	1,990	2,639	3,416
90	1,987	2,632	3,402
100	1,984	2,626	3,390

Рисунок 8.22 – критичні значення при ступені свободи 92

Згідно таблиці критичних значень критерій Ст'юдента $12,55 > 3,402$, що в таблиці, тому рівень значимості менше ніж $\alpha=0,001$. Це означає, що достовірність даних підтверджена.

ВИСНОВКИ

Для проектування магістерської дисертації, я оглянув сферу, в якій Україна має можливості для розвитку. Цією галуззю стало машинобудування, точніше обладнання для хімічного машинобудування. Основним завданням галузі є випуск надійної та якісної продукції, що використовується промисловістю. Основними видами продукції є полімерні, синтетичні, гумові та інші матеріали.

Для їх якісного виробництва заводи оснащені лініями та машинами різного призначення. Важливе значення мають технологічні каландрові лінії для виготовлення лінолеуму, листової гуми, плівок та інших виробів.

Для виготовлення рулонних матеріалів, в лініях завжди є присутня така машина (установка), як каландр. Каландри застосовуються для змішування, пластикації та подрібнення матеріалів, для виготовлення полос, плівок із пластмас та гуми. Вузли каландра, які мають потребу для модернізації – валки (основні робочі органи машини) з можливістю збільшення якості виробу, який виготовляється та зменшення їх енергозатрат. Також ще одним вузлом, що підлягає модернізації є натисний гвинт механізму регулювання зазору, що також впливає на якість виробу, і так як він постійно навантажений і знаходиться в агресивному середовищі, то потрібно забезпечити його довговічність.

Було вибрано 2 модернізації:

- Модернізація охолоджуючого барабана вальців полягає в застосуванні отворів в корпусі вальця, які зв'язані з охолоджуючим каналом. Це призводить до збільшення коефіцієнту тепловіддачі від метала до циркулюючій в порожнині охолоджуючої води, що призводить до:

- підвищення швидкості охолодження листа, що є дуже важливим фактором, який веде до підвищення годинної продуктивності та якості зі зміною ціни;
- підвищення надійності та довговічності машини, тобто підвищується термін роботи машини без поломок;
- зменшення браку в виробництві, що мав місце в результаті не рівномірного охолодження вальців;
- зменшення металоємності та маси конструкції.

- Модернізація упорного гвинта механізму регулювання зазору полягає в виконанні захисної камери з гнучкої оболонки з поздовжнім розрізом, що істотно спрощує встановлення гнучкої оболонки у вузол і знімання її з нього. Це дозволяє збільшити довговічність і зручність використання і обслуговування даного вузла, що призводить до:

- полегшення доступу до вузла
- захист від потрапляння на робочий орган матеріалу та мастила
- покращує надійність роботи упорного гвинта

Тому для вузла каландра – валків та вузла механізму регулювання зазору – натисного гвинта було проведено параметричні, теплові, гідравлічні, розрахунки на міцність.

Було розроблено креслення технологічної лінії виробництва транспортерної стрічки [ЛП-91мп.087252.000-70], машини, що підлягає модернізації [ЛП-91мп.087252.001-70], механізму для якого було розроблено модернізацію – механізму регулювання зазору [ЛП-91мп.087252.002-70], а також базового та модернізованого вузла валка [ЛП-91мп.087252.003-70] та [ЛП-91мп.087252.004-70] відповідно і вузла натисного гвинта, що зображено на кресленні [ЛП-91мп.087252.006-70].

Також за допомогою 3Д-моделювання було створено моделі вузлів та розрахунок їх за допомогою програмного забезпечення. Він показав, що обрані модернізації мають вплив на якість продукції, енергоефективність та довговічність модернізованої машини – каландра. Всі ці результати зображені на плакатах [ЛП-91мп.087252.006-70] та [ЛП-91мп.087252.007-70], а їх програмний розрахунок та аналіз достовірності даних – в ДОДАТКУ Б.

Всі вище перелічені креслення, плакати, розрахунки, 3-Д моделювання описані в записці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимеров / Ю. Е. Лукач, Л. Г. Воронин, В. Н. Бондаренко и др. – К.: Техника, 1988. – 208 с.
2. Лукач Ю. Е., Рябинин Д. Д., Метлов Б. Н. Валковые машины для переработки пластмасс и резиновых смесей. – М.: Машиностроение, 1967. – 296 с.
3. Бекин Ю. Е. Расчет технологических параметров и оборудование для переработки резиновых смесей в изделия. – Л.: Химия, 1987. – 272 с.
4. Рябинин Д. Д. Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей / Д. Д. Рябинин, Ю. Е. Лукач. – М.: Машиностроение, 1972. – 272 с.
5. Переработка пластмасс: Справ. пособие / Под ред. В. А. Брагинского. – Л.: Химия, 1985. – 256 с.
6. Требования к оформлению текстовой документации: Метод. указания / В. Н. Марчевский – К.: КПИ, 1989. – 64 с.
7. Конструкции каландров и схемы переработки на них пластических масс и резиновых смесей / И. О. Микулёнок, С. А. Рощупкин, Ю. Е. Лукач и др. – К., 1989.
8. Ансеров М. А. Приспособление для металлорежущих станков. – Л.: Машиностроение, 1975. – 652 с.
9. Боженов Н. П., Семенов К. Д. Ремонт и монтаж оборудования заводов переработки пластмасс и резины. – М.: Химия, 1974. – 248 с.
10. Справочник технолога-машиностроителя. Т.1 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещрякова. – М.: Машиностроение 1986. – 656 с.
11. Пат. України № 116061, МПК5 В29В 7/62, заявл. 24.10.2016, опубл. 10.05.2017, бюл. № 9.
12. Карвацький А.Я., Мікульонок І.О., Борщик С.О., Караулова В.О. "Моделювання механічних властивостей армованих полімерних матеріалів пакувального призначення". Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та *ресурсозбереження*. 2018. N 1. С. 24-32. DOI:10.20535/2306-1626.1.2018.143371.
12. Пат. України № 104323 U, МПК В29С 43/46, заявл. 07.07.2015, опубл. 25.01.2016, Бюл. № 2.
13. Пат. України № 78653 U, МПК В29В 7/62, заявл. 02.10.2012, опубл. 25.03.2013, Бюл. № 6.

14. Пат. України № 55177 U, МПК (2009) B29C 43/24 (2009/01), B29B 7/00, заявл. 30.04.2009, опубл. 26.10.2009.
16. Сокольський О.Л., Івіцький І.І., Олексішен В.О.. "Моделювання течії розплавів полімерів за наявності низьков'язкого пристінного шару". *Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*. 2019. N 1. С. 35-40. DOI: 10.20535/2617-9741.1.2019.171033.
17. Щербина В.Ю., Конструкторське проектування обладнання. Конспект лекцій [Електронний ресурс] / Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2018. – 83с. URL:<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25669>
18. Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Івіцький І. І., Куриленко В.М. "Перспективи створення й використання інтелектуальних виробів із наномодифікованих полімерних композитів". *Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*. 2017. N 1. С. 7-14. DOI: 10.20535/2306-1626.1.2017.119417.
19. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г. "Моделювання процесу нестационарного теплообміну в футерівці обертових агрегатів". *Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження*. – 2020. – N 2. - С. 20-31. DOI : 10.20535/2617-9741.2.2020.208052.
20. Shcherbina V., Shvachko D., Borshchik S. Heat exchange simulation in energy zones of a rotary kiln with change of heat resistance of the body. *Technology audit and production reserves* 2019. №6/1(50). pp. 36-41. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.189169>
21. Практикум із охорони праці: Навч. посіб. / В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, В. М. Сторожук та ін. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.
22. Ткачук К. Н. Справочник по охране труда на промышленном предприятии. – К.: Техника, 1991 – 285 с.
23. Мікульонок І. О. Основи інтелектуальної власності: Навч. посібник – К.: ІЗМН, 1998. – 232 с.
24. Ромакін В.В. Комп'ютерний аналіз даних: Навчальний посібник. – М.: МДГУ ім. Петра Могили, 2006. – 144 с.
25. Виконання економічної частини дипломного проекту для студентів хіміко-машинобудівних спеціальностей: Метод. вказівки / А. Е. Розенплентер, Т. В. Панішева. – К.: КПІ, 2001. – 28 с.

ДОДАТОК А

КОМПАС-3D v18.1 Чудова версія © 2019 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.	Справ. №	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № подл.	Инв. № доп.	Подп. и дата		Документація				
					A1		ЛП-91мп.087254.001-70	Каландр Г-подібний	1	
								Складальні одиниці		
						1	ЛП-91мп.087254.002-70	Редуктор КЦ70-Л	1	
						2	ЛП-91мп.087254.003-70	Основа	1	
						3	ЛП-91мп.087254.004-70	Валок	1	
						4	ЛП-91мп.087254.005-70	Валок	1	
						5	ЛП-91мп.087254.006-70	Валок	1	
						6	ЛП-91мп.087254.007-70	Стріли обмежувальні	2	
						7	ЛП-91мп.087254.008-70	Доска обмежувальна	1	
						8	ЛП-91мп.087254.009-70	Кожух	1	
						9	ЛП-91мп.087254.010-70	Кожух	1	
						10	ЛП-91мп.087254.011-70	Кожух	1	
						11	ЛП-91мп.087254.012-70	Пристрій для підводу теплоносія	3	
						12	ЛП-91мп.087254.012-70	Комунік. густого змащування	1	
						13	ЛП-91мп.087254.014-70	пристрій закаточний	1	
						14	ЛП-91мп.087254.015-70	Пристрій підводу теплоносія	1	
						15	ЛП-91мп.087254.016-70	Пристрій для повернення кромок	2	
						16	ЛП-91мп.087254.017-70	Пристрій розкаточний	1	
	17	ЛП-91мп.087254.018-70	Пристрій аварійний	2						
	18	ЛП-91мп.087254.019-70	Пристрій аварійний	2						
	19	ЛП-91мп.087254.020-70	Ролик направляючий	6						
	20	ЛП-91мп.087254.021-70	Ніж для обрізування кромок	1						
	21	ЛП-91мп.087254.022-70	Пристрій ріжучий	1						
	22	ЛП-91мп.087254.023-70	Живник	2						
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № доп.	Подп. и дата	ЛП-91мп.087254.001-70					
					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
					Разраб.	Терлецький				
					Пров.	Шилович				
					Н.контр.					
					Каландр Г-подібний	Лит.	Лист	Листов		
Утв.	Панов						1	5		
						НТУУ"КПІ ім.І.Сікорського ІХФ, ЛП-91мп				

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		23	ЛП-91мп.087254.024-70	Комунікація повітряна	1	
		24	ЛП-91мп.087254.025-70	Кожух	4	
		25	ЛП-91мп.087254.026-70	Кожух	1	
		26	ЛП-91мп.087254.027-70	Механізм регулювання зазору	3	
		27	ЛП-91мп.087254.028-70	Механізм регулювання зазору	3	
		28	ЛП-91мп.087254.029-70	Огородження	1	
		29	ЛП-91мп.087254.030-70	Пристрій розширювальний	1	
		30	ЛП-91мп.087254.031-70	Механізм вибору зазора	4	
		31	ЛП-91мп.087254.032-70	Система змащування	1	
		32	ЛП-91мп.087254.033-70	Станція густого змащування	1	
		33	ЛП-91мп.087254.034-70	Розводка дротів	1	
		34	ЛП-91мп.087254.035-70	Пульт керування	1	
		35	ЛП-91мп.087254.036-70	Установка клапанів	1	
		36	ЛП-91мп.087254.037-70	Трубопровід	1	
		37	ЛП-91мп.087254.038-70	Трубопровід	1	
		38	ЛП-91мп.087254.039-70	Трубопровід	1	
		39	ЛП-91мп.087254.040-70	Трубопровід	1	
		40	ЛП-91мп.087254.041-70	Трубопровід	1	
		41	ЛП-91мп.087254.042-70	Установка перетвор пірометричного	4	
		42	ЛП-91мп.087254.043-70	Кожух	1	
		43	ЛП-91мп.087254.044-70	Трубопровід	1	
		44	ЛП-91мп.087254.045-70	Муфта	1	
		45	ЛП-91мп.087254.046-70	Трубопровід	1	
		46	ЛП-91мп.087254.047-70	Кронштейн	1	
		47	ЛП-91мп.087254.048-70	Трубопровід	1	
		48	ЛП-91мп.087254.049-70	Кронштейн	1	
		49	ЛП-91мп.087254.050-70	Шестерня z=30 m=18	1	
		50	ЛП-91мп.087254.051-70	Лапа	8	
		51	ЛП-91мп.087254.052-70	Шестерня z=30 m=18	2	
		52	ЛП-91мп.087254.053-70	Лапа	2	
		53	ЛП-91мп.087254.054-70	Шестерня z=30 m=18	2	
		54	ЛП-91мп.087254.055-70	Шестерня z=30 m=18	2	
Инв. № подл.		Взам. инв. №		Инв. № докл.		Подп. и дата
Подп. и дата		Подп. и дата		Подп. и дата		
Изм.		Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
ЛП-91мп.087254.001-70						2

№ подл.	Пл
---------	----

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		55	ЛП-91мп.087254.056-70	Вікно	4	
		56	ЛП-91мп.087254.057-70	Установка електродвигуна приводу валків	1	
				<u>Деталі</u>		
		57	ЛП-91мп.087254.058-70	Шкала	4	
		58	ЛП-91мп.087254.059-70	Плита	1	
		59	ЛП-91мп.087254.060-70	Підкладка	2	
		60	ЛП-91мп.087254.061-70	Підкладка	4	
		61	ЛП-91мп.087254.062-70	Прокладка	4	
		62	ЛП-91мп.087254.063-70	Штанга	1	
		63	ЛП-91мп.087254.064-70	Корпус підшипника	1	
		64	ЛП-91мп.087254.065-70	Прокладка Ø68/33 Проніт ПОЧ-1	16	
		65	ЛП-91мп.087254.066-70	Кришка	1	
		66	ЛП-91мп.087254.067-70	Прокладка 26/21 Пароніт ПОЧ-1	4	
		67	ЛП-91мп.087254.068-70	Кришка	1	
		68	ЛП-91мп.087254.069-70	Пластина опорна Лист СтЗ	4	
		69	ЛП-91мп.087254.070-70	Клин верхній	4	
		70	ЛП-91мп.087254.071-70	Кришка	2	
		71	ЛП-91мп.087254.072-70	Кришка	2	
		72	ЛП-91мп.087254.073-70	Палець	4	
		73	ЛП-91мп.087254.074-70	Гвинт	6	
		74	ЛП-91мп.087254.075-70	Гвинт М36х200	4	
		75	ЛП-91мп.087254.076-70	Зірочка підкладка	1	
		76	ЛП-91мп.087254.077-70	Підкладка	2	
		77	ЛП-91мп.087254.078-70	Шпонка	2	
		78	ЛП-91мп.087254.079-70	Шпонка від'ємна	2	
		79	ЛП-91мп.087254.080-70	Шестерня z=105 m=12	1	
		80	ЛП-91мп.087254.081-70	Болт спеціальний	2	
		81	ЛП-91мп.087254.082-70	Шестерня z=39 m=12	1	
		82	ЛП-91мп.087254.083-70	Гайка спеціальна	2	
		83	ЛП-91мп.087254.084-70	Табличка заводська	1	

Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----------	----------	-------	------

ЛП-91мп.087254.001-70

Лист
3

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		113		Вікно	1	
		114		Прокладка	1	
		115		Прокладка	4	
		116		Оправа 2У-265 ГОСТ3029-75	4	
		117		Лампа накаливання	1	
				230-240-15 ГОСТ2239-70		
		118		Ланцюг зПР-25, 4-6000	1	
				L=3900 ГОСТ135-68-75		
		119		Ланцюг зПР-25, 4-6000	1	
				L=3900 ГОСТ135-68-75		
		120		Болти ГОСТ7798-70	38	
		121		M6 *16.48.019	6	
		122		M6 *20.48.06	22	
		123		.M8 *20.48.06	12	
		124		M8 *35.48.06	114	
		125		M10 *20.48.019	1	
		126		M10 *20.48.06	22	
		127		M10 *30.48.06	48	
		128		M12 *30.48.06	30	
		129		M12 *35.48.019	8	
		130		M12 *40.48.06	18	
		131		.M12 *50.48.06	32	
		132		M16 *30.48.06	46	
		133		M16 *35.48.019	6	
		134		M16 *40.48.06	10	
		135		M16 *60.48.06	8	
		136		M16 *70.48.06	4	
		137		M16 *80.48.06	12	
		138		M16 *130.48.019	24	
		139		M20 *40.48.06	28	
		140		M20 *60.48.06	52	
		141		M20 *100.48.06	42	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЛП-91мп.087254.001-70	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	
Не для коммерческого использования					Копировал	
					Формат А4	
					5	

КОМПАС-3D v18.1 Чудова версія © 2019 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
Справ. №		A1								
Подп. и дата				1	ЛП-91мп.087253.002.01	Муфта	1			
				2	ЛП-91мп.087253.002.02	Колесо червячне m=4 z=49	1			
				3	ЛП-91мп.087253.002.03	Колесо червячне m=8 z=64	1			
		Подп. и дата				4	ЛП-91мп.087253.002.04	Корпус	1	
				5	ЛП-91мп.087253.002.05	Прокладка	8			
				6	ЛП-91мп.087253.002.06	Прокладка	18			
				7	ЛП-91мп.087253.002.07	Прокладка	16			
				8	ЛП-91мп.087253.002.08	Втулка	2			
				9	ЛП-91мп.087253.002.09	Кришка	1			
				10	ЛП-91мп.087253.002.10	Прокладка	1			
				11	ЛП-91мп.087253.002.11	Прокладка	3			
				12	ЛП-91мп.087253.002.12	Кришка	3			
				13	ЛП-91мп.087253.002.13	Кільце	2			
				14	ЛП-91мп.087253.002.14	Кришка	1			
				15	ЛП-91мп.087253.002.15	Стакан	1			
				16	ЛП-91мп.087253.002.16	Червяк m=8 z=1	1			
				17	ЛП-91мп.087253.002.17	Прокладка	1			
				18	ЛП-91мп.087253.002.18	Втулка	1			
				19	ЛП-91мп.087253.002.19	Прокладка	1			
Инв. № подл.										
Изм. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЛП-91мп.087253.002-70			
		Разраб.	Терлецкий							
		Пров.	Шилович							
		Н.контр.								
		Утв.	Панов							
Инв. № подл.		Механізм регулювання зазору					Лист.	Лист	Листов	
								1	3	
							НТУУ"КПІ ім.І.Сікорського" ІХФ, ЛП-91мп			

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		20	ЛП-91мп.087253.002.14	Кришка	1	
		21	ЛП-91мп.087253.002.15	Кришка	1	
		22	ЛП-91мп.087253.002.16	Червяк m=4 z=1	1	
		23	ЛП-91мп.087253.002.17	Колесо масловідбивне	2	
		24	ЛП-91мп.087253.002.18	Лімб	1	
		25	ЛП-91мп.087253.002.19	Корпус	1	
				Стандартні вироби		
		26		Підшипник 312 ГОСТ8338-75	1	
		27		Підшипник 31 ГОСТ8338-75	1	
		28		Підшипник 7613 ГОСТ8333-75	2	
		29		Підшипник 46308 ГОСТ8831-75	2	
		30		Масилка 1.2Ц6 ГОСТ19853-74	1	
		31		Болт М8*16.48.06 ГОСТ7798-70	16	
		32		Болт М10*20.48.019 ГОСТ7798-70	8	
		33		Болт М10*30.48.06 ГОСТ7798-70	8	
		34		Болт М12*35.48.06 ГОСТ7798-70	28	
		35		Болт М12*45.48.06 ГОСТ7798-70	12	
		36		Гвинт В1М6-8g*12.48.06	28	
		37		ГОСТ 174 73-80		
		38		Гайка 50 ГОСТ 8725-67	1	
		39		Гайка 60 ГОСТ 8725-67	2	
		40		Шайба 6.65Г.05 ГОСТ6402-70	4	
		41		Шайба 8.65Г.05 ГОСТ6402-70	4	
		42		Шайба 10.65Г.05 ГОСТ6402-70	16	
		43		Шайба 12.65Г.05 ГОСТ6402-70	40	
		44		Шайба 50 ГОСТ8725-67	1	
		45		Кільце Б65У ГОСТ13942-68	1	
		46		Кришка 90-40-10	1	
		47		Кришка 90-10	1	
		48		Шпонка 8В*7*20 ГОСТ8789-68	1	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЛП-91мп.087253.002-70	
					Лист	
					2	

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

КОМПАС-3D v18.1 Чудова версія © 2019 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия Все права защищены.

Перв. примен.	Справ. №	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
						Документация				
Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №	Инв. № инв.	Подп. и дата	A1	ЛП91мп.087252.003-70	Збіркове креслення			
							Деталі			
					1	ЛП91мп.087252.003.01-70	Продка	64		
					2	ЛП91мп.087252.003.02-70	Шпонка	1		
					3	ЛП91мп.087252.003.03-70	Кільце притискуюче	1		
					4	ЛП91мп.087252.003.04-70	Кришка	1		
						ЛП91мп.087252.003.05-70	Гайка кільцева	1		
					5	ЛП91мп.087252.003.06-70	Прокладка	12		
					6	ЛП91мп.087252.003.07-70	Кільце різьбове	1		
					7	ЛП91мп.087252.003.08-70	Прокладка	1		
					8	ЛП91мп.087252.003.09-70	Напівкільце	2		
					9	ЛП91мп.087252.003.10-70	Кільце лабіринта	4		
					10	ЛП91мп.087252.003.11-70	Гвинт	1		
					11	ЛП91мп.087252.003.12-70	Валок	1		
					12	ЛП91мп.087252.003.13-70	Корпус підшипника	2		
					13	ЛП91мп.087252.003.14-70	Кришка	2		
14	ЛП91мп.087252.003.15-70	Кришка	2							
15	ЛП91мп.087252.003.16-70	Ніпель	2							
16	ЛП91мп.087252.003.17-70	Подкладка	2							
Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №	Инв. № инв.	Подп. и дата		Стандартні вироби				
					17	ЛП91мп.087252.003.17-70	Підшипник30031804	2		
							ГОСТ5721-75			
Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №	Инв. № инв.	Подп. и дата	ЛП91мп.087252.003-70	Валок верхній базовий	Лит.	Лист	Листов
									1	2
								НТУУ"КПІ ім.І.Сікорського"		
								ІХФ ЛП-91мп		

Не для коммерческого использования Копировал Формат А4

КОМПАС-3D v18.1 Чудова версія © 2019 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия Все права защищены.

Перв. примен.	Справ. №	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание						
						Документація								
Подп. и дата	Инв. № подл.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	A1	ЛП91мп.087252.004-70	Збіркове креслення							
							Деталі							
						1	ЛП91мп.087252.004.01-70	Пробка	64					
						2	ЛП91мп.087252.004.02-70	Шпонка	1					
						3	ЛП91мп.087252.004.03-70	Кільце притискуєче	1					
						4	ЛП91мп.087252.004.04-70	Кришка	1					
							ЛП91мп.087252.004.05-70	Гайка кільцева	1					
						5	ЛП91мп.087252.004.06-70	Прокладка	12					
						6	ЛП91мп.087252.004.07-70	Кільце різьбове	1					
						7	ЛП91мп.087252.004.08-70	Прокладка	1					
						8	ЛП91мп.087252.004.09-70	Напівкільце	2					
						9	ЛП91мп.087252.004.10-70	Кільце лабіринта	4					
						10	ЛП91мп.087252.004.11-70	Гвинт	1					
						11	ЛП91мп.087252.004.12-70	Валок	1					
						12	ЛП91мп.087252.004.13-70	Корпус підшипника	2					
						13	ЛП91мп.087252.004.14-70	Кришка	2					
						14	ЛП91мп.087252.004.15-70	Кришка	2					
	15	ЛП91мп.087252.004.16-70	Ніпель	2										
	16	ЛП91мп.087252.004.17-70	Подкладка	2										
						Стандартні вироби								
					17	ЛП91мп.087252.004.17-70	Підшипник30031804	2						
							ГОСТ5721-75							
							Болти ГОСТ7798-70							
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЛП91мп.087252.004-70	Валок верхній модернізований	Лит.	Лист	Листов
													1	2
												НТУУ"КПІ ім.І.Сікорського"		
												ІХФ ЛП-91мп		

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документація		
						Складальне креслення		
		A1			ЛП91мп.087252.005-70СК	Гвинт упорний	1	
						Деталі		
				1	ЛП91мп.087252.005.01	Рукав	1	
				2	ЛП91мп.087252.005.02	Упорний гвинт	1	
				3	ЛП91мп.087252.005.03	Гайка	2	
				4	ЛП91мп.087252.005.04	Кришка	1	
				5	ЛП91мп.087252.005.05	Підп'ятник	1	
				6	ЛП91мп.087252.005.06	Голівка	1	
				7	ЛП91мп.087252.005.07	Напівкільце	4	
				8	ЛП91мп.087252.005.08	Касета	1	
				9	ЛП91мп.087252.005.09	Гвинт	1	
				10	ЛП91мп.087252.005.10	Корпус	1	
				11	ЛП91мп.087252.005.11	Матриця	1	
						Стандартні вироби		
				12		Болт М6х14.48.06 ГОСТ 7798-70	12	
				13		Гвинт М10х30.66.06 ГОСТ 1476-75	2	
				14		Шайба 6.6Г.029 ГОСТ 6402-70	6	
				15		Кільце 90.11.06 ГОСТ 2833-77	1	
						ЛП91мп.087252.005-70		
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
		Разраб.	Терлецький				Лит.	Лист
		Пров.	Шилович					1
		Н.контр.					Листов	
		Утв.	Панов				2	
		Гвинт упорний					НТУУ"КПІ ім. Ізгоря Сікорського", ІХФ, ЛП-91мп	